



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PECE – Programa de Educação Continuada

SÔNIA DENISE FERNANDES MONDADORI

**Considerações sobre a utilização de energia na secagem do
Café: Destaque para uso da Energia Solar**

São Paulo

2016

SÔNIA DENISE FERNANDES MONDADORI

**Considerações sobre a utilização de energia na secagem do café:
Destaque para uso da Energia Solar**

Monografia apresentada no PECE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

Área de Concentração:
Energia Solar

Orientador: Prof. Dr.
Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação
Serviço de Documentação de Energias Renováveis
Faculdade Politécnica de São Paulo

Mondadori, Sônia Denise Fernandes

Considerações sobre a utilização de energia na secagem do café. Destaque para uso da energia solar/Sônia Denise Fernandes Mondadori; orientador – Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco – São Paulo, 2016

Tese (.....) – Universidade de São Paulo, 2016

Secagem de café.....

Nome: MONDADORI, Sônia Denise Fernandes
Título: Considerações sobre a utilização de energia na secagem do café. Destaque para uso da Energia Solar

Dissertação apresentada ao PECE - Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

Aprovado em: ____/____/____

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

Assinatura _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira

Assinatura _____

Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta

Assinatura _____

DEDICATÓRIA

À minha mãe Zillah, pelo apoio constante

IN Memoriam

Ao meu pai Eros

À minha irmã Sylvia

À minha primeira mestra Cleude Aparecida Lopes

Ao querido tio Dr. Armando Costa França Mondadori

AGRADECIMENTO

À Natureza e à Ciência, minhas fontes constantes de inspiração;

A todos os Professores que tive e que tanto me ensinaram;

Aos mestres do PECE, pela dedicação e esforço em nos transmitir o melhor;

Muito especialmente, ao Professor Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco, que me orientou na confecção dessa monografia, pelo conhecimento, paciência e paixão pela matéria, que nos contagia.

A alegria que se tem em pensar e aprender faz-nos pensar e aprender ainda mais.

Aristóteles

RESUMO

MONDADORI, Sônia Denise Fernandes. **Considerações sobre a utilização de energia na secagem do café**: destaque para uso de energia solar. 2016. 89f. Dissertação (Especialização) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

O café foi e continua sendo um produto agrícola de importância dentro da economia brasileira. Para a sua produção concorrem um conjunto de operações desde o plantio até a estocagem. Entre estas operações, a operação de secagem é fundamental para a qualidade do produto final e também consumidora de energia térmica em valor considerável. A secagem ao longo da história da produção de café usou o processo de “terreirões” que removia a umidade pela ação da energia solar, porém devido à escassez de mão de obra para trabalho neste método passou a ser realizada em secadores compactos que utilizam como fonte de aquecimento do ar a lenha e também gás combustível. Na atualidade, requisitos de meio ambiente, relacionados com emissão de material particulado e gases de efeito estufa, associados com diretivas de produção sustentáveis apontam para uso de alternativas energéticas, entre elas o retorno ao uso de energia solar dentro de um contexto com novas tecnologias. Este trabalho discute as implicações favoráveis e dificuldades da utilização da energia solar para a operação de secagem de café dentro do contexto tecnológico atual. Para esta discussão foi utilizada uma fazenda hipotética de porte médio dentro do contexto brasileiro, produtora de 500 sacas de café anuais, localizada no SE do estado de São Paulo, município de Aguaí.

Palavras-chave:

Secagem de café, aquecimento solar, coletor solar, energia solar, energia renovável.

ABSTRACT

MONDADORI, Sônia Denise Fernandes. **Considerações sobre a utilização de energia na secagem do café**: destaque para uso de energia solar. 2016. 89f. Dissertação (Especialização) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

The coffee was and remains an important agricultural product in the Brazilian economy. For its production contributes a set of operations from planting to storage. Among these operations, the drying operation is critical to the quality of the final product and also thermal energy consumer in considerable value. Drying along the story of the coffee production used the process of "solar blocks of land" that removed moisture by the action of solar energy, but due to shortage of work force for this method it began to be performed in compact dryers use as a source for air heating the burning of wood and also fuel gas. At present, the environmental requirements relating to emission of particulate matter and greenhouse gases, associated with sustainable production policies point to use alternative energy sources, including the return to the use of solar energy within a context of new technologies. This paper discusses the positive consequences and difficulties of using solar energy for coffee drying operation within the current technological context. For this discussion we used a hypothetical medium-sized farm in the Brazilian context, producing 500 bags of coffee per year, located in the SE of the state of São Paulo, Aguaí.

Keywords: Coffee drying , solar heating, solar collector, solar energy, renewable energy .

LISTA DE MAPAS

Mapa 3.1 - Radiação solar global diária – média anual	58
Mapa 3.2 - Localização Geográfica do projeto – Aguaí, SP.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 - Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas.....	60
Gráfico 3.2 - Comparação do plano horizontal $\beta = 0^\circ$ ao inclinado $\beta = 37^\circ$	62
Gráfico 3.3 - Comparação do plano horizontal $\beta = 0^\circ$ ao inclinado $\beta = 37^\circ$	63

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 - (a) detalhe do terreiro após a distribuição do café vindo do lavador mostrando a umidade do piso e, (b) operação real de distribuição e revolvimento de café no terreiro	25
Figura 2.2 - Estufa para secagem do café.....	26
Figura 2.3 - (a) vista superior e (b) corte longitudinal do secador híbrido, com opções para secagem em camada fixa ou em leiras	27
Figura 2.4 - (a) câmara de secagem construída com caixa de fibras de 2.500 litros e (b) detalhes do sistema de secagem em leiras.....	27
Figura 2.5 - Planta baixa e corte AA do terreiro híbrido, módulo de 150m ² , e detalhes do sistema de ventilação	28
Figura 2.6 - Secador modelo silo.....	28
Figura 2.7 - Secador Rotativo.....	30
Figura 2.8 - Determinação do espaço mínimo entre fileiras dos coletores	36
Figura 2.9 - Croqui da área dos coletores, distribuição das casas e construções próprias ao manejo de secagem e estocagem do café	38
Figura 2.10 - Corte de um coletor solar plano	39
Figura 2.11 - Sistema circular fechado para aquecimento de líquidos com coletores planos	40
Figura 2.12 - Configurações possíveis de coletores: a) tubular com refletor difuso atrás; b) tubular com refletores especulares;c) receptor e refletores planos; d) parabólico e) Fresnel f) conjunto heliostático com receptor central	41
Figura 2.13 - Energia Solar com estocagem: a) E.solar incidente G_T , ganho do coletor Q_u e cargas \dot{L} como função de tempo por três dias. Áreas verticais sombreada mostra tempos com excesso de energia para ser estocado! Áreas horizontais sombreadas mostra energia retirada do tanque para a carga. Linhas pontilhadas mostram energia requerida dos coletores durante a operação deles. Energia adicionada ou retirada da estocagem $t=0$;.c) Valores integrados do ganho do coletor, da carga e energia auxiliar pelos 3 dias. Nesse exemplo, a energia solar coletada é ligeiramente maior do que a metade da carga integrada ..	42

Figura 2.14 - Sistema típico de tanque de estocagem com circulação da água pelos componentes do sistema	44
Figura 2.15 - Tanque não estratificado de estocagem de massa m dependente da Temperatura T_s em ambiente de Temperatura T_a	45
Figura 2.16 - 3 tanques de estocagem estratificados	46
Figura 2.17 - Unidade de estocagem	47
Figura 2.18 - Trocador de calor entre o coletor e o tanque de estocagem	49
Figura 2.19 - Fator de correção para trocador de calor como função de $\epsilon((\dot{m}C_p)_{\min}/(\dot{m}C_p)_c e / (\dot{m}C_p)/F_R U_L A_c$	50
Figura 2.20 - Distribuição da Temperatura através dos dutos de um coletor	51
Figura 2.21 - Trocadores de calor de tubos: a) fluxo paralelo; b) fluxo contrário.....	52
Figura 2.22 - Trocadores de fluxo de passagem: a) placas com ambos os fluidos sem se moverem; b) Sem placas, onde um fluido se movimenta e o outro não	52
Figura 3.1 - Esquema do sistema do coletor com tanque de armazenamento e fluxo/contrafluxo de ar	63
Figura 3.2 - Arranjo de coletores	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Valores recomendados para avaliações mensais de n dos meses (Duffie & Beckman)	34
Tabela 2.2 - Radiação média diária extraterrestre. (Duffie & Beckman)	34
Tabela 2.3 - Valores representativos das substâncias mais usadas em trocadores de calor.....	53
Tabela 3.1 – Dados Nominais do Secador Rotativo Pinhalense.....	54
Tabela 3.2 - Coordenadas Geográficas próximas ao local escolhido com respectivo gráfico comparativo	59
Tabela 3.3 - Tabela Cresesb do Local mais próximo ao local escolhido, com gráfico comparativo no plano horizontal e igual à latitude $\beta = 22^\circ$ da Irradiação Solar.....	60
Tabela 3.4 - Interpolação para cálculo de \bar{H}_0 (mj/m ² .dia) usando-se a tab. 2.2....	61
Tabela 3.5 - Cálculo do ω , ω_{s^*} , H_d/H , R_b no plano horizontal $\beta = 0^\circ$; usando-se as equações (2.1); (2.2); (2.3); (2.4) e o $K_t = \bar{H}/\bar{H}_0$	61
Tabela 3.6 - Cálculo do ω , ω_{s^*} , K_t , H_d/H , R_b e \bar{H}_t no plano Inclinado $\beta = 37^\circ$, usando-se as equações (2.1); (2.2); (2.3); (2.4) e o $K_t = \bar{H}/\bar{H}_0$. A equação (2.5) foi usada para calcular o \bar{H}_t	62
Tabela 3.7 - \bar{H}_t diário e mensal dos meses de colheita e área de coletores	65
Tabela 3.8 – Cálculo da energia acumulada e gasta por dia	66
Tabela 4.1 Discriminação e valores do “kit” solar	71
Tabela 4.2 - Cálculo dos fluxos de caixa, VPL, TIR, Payback simples e descontado do projeto solar	71 / 72
Tabela 5.1 - Sequestro de carbono (tC/ha.ano) das nativas (média) e de espécies comerciais	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A_c	Área de coletores
A_{rs}	Área total mínima de superfície terrestre
CAT	Custo Anual Total
C_t	Custo no período t
D	Distância máxima
FC_t	Fluxo de Caixa no período t
$F_R(\tau\alpha)$	Coeficiente de ganho do coletor (adimensional)
$F_R U_L$	Coeficiente de perdas do coletor
GEE	Gases de efeito estufa
G_T	Irradiação Solar
H	Altura do coletor
\bar{H}	Irradiação média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal
\bar{H}_0	Irradiação extraterrestre média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal
\bar{H}_b	Componente direto da irradiação diária média mensal sobre a superfície horizontal
\bar{H}_{bT}	Componente direto da irradiação diária média mensal sobre a superfície inclinada
\bar{H}_d	Componente difuso da irradiação diária média mensal sobre a superfície horizontal
\bar{H}_T	Irradiação média diária mensal sobre a superfície inclinada de um ângulo β em relação à superfície terrestre
HSP	Horas de Sol Pleno
I	taxa de desconto
II_0	Investimento inicial
\bar{K}_t	Índice de Claridade médio diário mensal
L	largura do coletor
M_e	Massa de água evaporada
M_d	Material descarregado seco
M_{agf}	Massa de água final

M_{agi}	Massa de água inicial
M_L	Massa de lenha
M_m	Massa de água
N_{cf}	Número de coletores por fileira
N_f	Número de fileiras
P_a	peso da água
PCI	Poder calorífico inferior
P_{ms}	peso da matéria seca
PMDEE	produção média diária de energia específica
P_t	peso total da amostra
Q	média anual de produção de café cereja – n° de litros/1000 pés
Q_u	Quantidade de energia ou carga térmica
\bar{R}_b	Razão da Irradiação direta média mensal entre o plano inclinado e o plano horizontal
RCE	Redução Certificada de Emissão
S	área do terreirão m^2 para produção de mil pés
T	tempo médio de secagem na região (dias)
T_a	Temperatura ambiente
TD	taxa de desconto
T_f	Temperatura final
TIR	taxa interna de retorno
T_K	tempo de investimento
U	teor de umidade % na base úmida (bu)
U'	teor de umidade % na base seca (bs)
VP_L	Valor presente líquido
VP_T	valor presente total
β	Ângulo de inclinação da superfície
Y	Ângulo azimutal da superfície
δ	Declinação solar
θ_z	Ângulo Zenital
ρ	Refletividade média do solo
ω	Ângulo horário
ω_s	Ângulo horário do por do sol
Φ	Latitude

ρ_B	densidade bulk ou volumétrica
ΔH_E	energia necessária para evaporar a água (kJ)
ΔH_A	energia necessária para aquecer o material (kJ)
ΔH	energia total (kJ/batelada)
ΔH_L	energia disponibilizada pela lenha (kJ)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVO.....	18
1.2 ESCOPO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 HISTÓRICO DO CAFÉ.....	20
2.1.2 Chegada ao Brasil	20
2.2 TRATOS PÓS-COLHEITA	22
2.3 TECNOLOGIAS DE SECAGEM.....	23
2.4 SECADOR ROTATIVO MARCA PINHALENSE	29
2.4.1 Secagem	30
2.4.2 Forno Tubular Duplo.....	30
2.5 RELAÇÃO PESO/VOLUME/NÚMERO DE FRUTOS.....	31
2.6 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR	32
2.6.1 Radiação Solar	32
2.6.2 Cálculo da Irradiação Solar no Plano Inclinado	32
2.7 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO	35
2.8 COLETORES SOLARES PLANOS.....	38
2.9 COLETORES SOLARES CONCENTRADORES	40
2.10 EFEITOS DA SUJEIRA E SOMBREAMENTO NOS COLETORES	41
2.11 ENERGIA SOLAR – ARMAZENAMENTO	42
2.12 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS SOLARES	43
2.12.1 Armazenagem de Água.....	44
2.12.2 Estratificação em Tanques de Armazenagem.....	46
2.12.3 Armazenamento em Leitos de Pedra	47
2.13 CÁLCULOS DE PERFORMANCE PARA UM SISTEMA TÉRMICO	48
2.13.1 Fator do Coletor com Trocador de Calor	49
2.13.2 Fatores de Perda no Encanamento.....	51
2.14 TROCADORES DE CALOR.....	51
3 ESTUDO DA SECAGEM DE CAFÉ NA REGIÃO DA MOGIANA, CIDADE	

DE AGUAÍ, SP	54
3.1 BALANÇO DE MASSA E TÉRMICO DE UMA BATELADA NO SECADOR	54
3.1.2 Balanço de Massa no Secador.....	54
3.1.3 Balanço Térmico no Secador	55
3.1.4 Estimativa de carga térmica para a propriedade	56
3.2 ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA PARA A SAFRA DE CAFÉ BRASILEIRA	57
3.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR NA CIDADE DE AGUAÍ (SP).....	58
3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR.....	63
3.5 ARRANJO DO NÚMERO DE FILEIRAS	66
4 MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA	68
4.1 PELO FLUXO DE CAIXA	68
4.1.1 Valor Presente Líquido – VPL	68
4.1.2 TIR – Taxa Interna de Retorno.....	70
5 ANÁLISE DA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE) NA CULTURA BRASILEIRA DE CAFÉ PELA ADOÇÃO DE TÉCNICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA ALTERNATIVA	73
6 CONCLUSÃO.....	80
BIBLIOGRAFIA	82
APÊNDICE 1	84
ANEXO 1.....	87
ANEXO 2.....	88

1 INTRODUÇÃO

O café foi e continua sendo um produto agrícola de importância dentro da economia brasileira. Para a sua produção concorrem um conjunto de operações desde o plantio até a estocagem. Entre estas operações, a operação de secagem é fundamental para a qualidade do produto final e também consumidora de energia térmica em valor considerável.

A secagem ao longo da história da produção de café usou o processo de “terreirões” que removia a umidade pela ação da energia solar, porém devido à escassez de mão de obra para trabalho neste método passou a ser realizada em secadores compactos que utilizam como fonte de aquecimento do ar a lenha e também gás combustível.

Na atualidade, requisitos de meio ambiente, relacionados com emissão de material particulado e gases de efeito estufa, associados com diretivas de produção sustentáveis apontam para uso de alternativas energéticas, entre elas o retorno ao uso de energia solar dentro de um contexto com novas tecnologias.

Este trabalho discute as implicações favoráveis e dificuldades da utilização da energia solar para a operação de secagem de café dentro do contexto tecnológico atual.

Para esta discussão foi utilizada uma fazenda hipotética de porte médio dentro do contexto brasileiro, produtora de 500 sacas de café anuais, localizada no SE do estado de São Paulo, município de Aguaí.

1.1 OBJETIVO

Esta monografia tem por objetivo descrever e discutir os aspectos técnicos e econômicos da utilização da energia solar como vetor energético na operação de secagem de café em uma fazenda produtora de 500 sacas anuais de café, localizada em Aguaí, estado de São Paulo.

1.2 ESCOPO

Esta monografia:

- a) Avalia a necessidade de energia térmica necessária para a secagem da produção de café da fazenda objeto de estudo durante o período do ano em que ela é executada.
- b) Especifica um tipo de secador e uma jornada de operação para atender às necessidades desta produção, avaliando também os custos de investimento e operação.
- c) Discute e propõe alternativas técnicas para uso da energia solar nesta operação escolhendo uma delas para estudo
- d) Avalia o potencial solar da região aonde situa-se a fazenda objeto de estudo.
- e) Faz um dimensionamento conceitual do sistema de energia solar a ser acoplado ao secador estimando um custo de investimento e operação
- f) Realiza um estudo de viabilidade econômica tradicional comparando a substituição dos combustíveis lenha e gás pela energia solar
- g) Realiza um estudo de viabilidade econômica levando em consideração aspectos de sustentabilidade e oportunidades que se apresentam no contexto da questão climática.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DO CAFÉ

Conforme MOREIRA (2007) o café é uma planta originária do continente africano, pertence à família das Rubiáceas e possui duas espécies de interesse comercial distintas:

1 - *Coffea arabica* L. – originária da Etiópia, regiões de Cafa (daí o nome café) e Enária. Produz em altitudes entre 1.600 a 2.800 metros, com temperatura média anual de 20 °C. Representa entre 60% a 70% da produção mundial.

2 - *Coffea canephora* L. – originária do Congo e é conhecido como café robusta ou conilon. É bem mais resistente que o arábica e produz em altitudes até 1.200 metros, com temperaturas médias anuais entre 24 a 26 °C. Representa 38% da produção mundial.

Os árabes foram pioneiros em seu cultivo, usando-o de forma medicinal. No século XVI foi levado ao Egito e Turquia. No século XVII à Itália e Inglaterra e daí ganha toda Europa.

Os holandeses foram os responsáveis por sua disseminação pelo mundo, fazendo grandes plantações em suas colônias nas Índias Orientais e depois, juntamente com franceses e portugueses, transportaram-no para a América. Mudas provenientes do Jardim Botânico de Amsterdã foram trazidas para a Guiana Holandesa (hoje Suriname) e através do governador de Caiena, chegou à Guiana Francesa.

2.1.2 Chegada ao Brasil

Da Guiana Francesa, o sargento Francisco de Mello Palheta trouxe algumas mudas e sementes no ano de 1727 para Belém, no Estado do Pará. No entanto, aí não foi muito difundida e alguns anos depois foi levado ao Maranhão e Bahia em 1770.

No ano de 1774, o desembargador João Alberto Castelo Branco trouxe do Maranhão para o Rio de Janeiro algumas sementes que foram plantadas na chácara do Convento dos Frades Barbadinos. Chegou em 1820 ao Vale do Paraíba, onde aproveitou-se das estradas já existentes e terras desmatadas para se estabelecer como cultura em grandes propriedades.

Atingiu as terras férteis dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná tornando-se de grande importância econômica e social.

Durante o século XIX e início do século XX, foi o principal produto de exportação do Brasil, fornecendo divisas à sustentação do Império e da República Velha no Brasil.

Para produzir o café, promovia-se desmatamento e plantavam primeiramente apenas as sementes (várias) em uma cova. Depois, passaram a fazer viveiro de mudas e transplantá-las. O início da produção se dava em cinco anos e outras culturas eram plantadas nas “ruas” do cafezal, principalmente gêneros alimentícios. Os tratos culturais eram feitos usando-se mão de obra – inicialmente escrava e depois de colonos imigrantes. A colheita era manual e os grãos colocados no terreiro para secagem ao sol.

Após a secagem, os grãos eram beneficiados em monjolos, máquinas primitivas de madeira formadas por pilões socadores movidos à água. Daí eram transportados em lombos de mulas para o porto do Rio de Janeiro.

Com os lucros da produção e exportação do café, iniciou-se a modernização da economia e sociedade brasileira. Construíram ferrovias que se tornaram as artérias na interligação de regiões, principalmente ao Oeste paulista, com suas férteis terras roxas a partir de 1860. As ferrovias também permitiram o aumento da velocidade de transporte e daí o fortalecimento do porto de Santos, que se tornou o principal local de exportação do café.

Entre os anos de 1836 e 1837, a produção do café superou a de açúcar, tornando-o o principal produto de exportação. Originaram-se os famosos “Barões do Café”, que garantiram expressivo aumento de arrecadação ao Estado Imperial.

Foi essa cultura que permitiu acúmulo de capitais para urbanização de grandes cidades como Rio de Janeiro, São Paulo e interior paulista, além da industrialização do País e desenvolvimento do sistema bancário. MALAVOLTA (2008).

Hoje, essa importância já não é tão expressiva, mas urge utilizar novas tecnologias para que possa sobreviver aos tempos.

2.2 TRATOS PÓS-COLHEITA

O grão de café é composto apenas de matéria seca e água livre. Comercialmente a quantidade de água, teor, conteúdo ou grau de umidade do café é expressa pela relação entre as quantidades de água e matéria seca que compõem o grão. A porcentagem em base úmida é usada em designações comerciais e estabelecimento de preços. O teor de umidade em base seca (decimal) é comumente usado em trabalhos de pesquisa e em cálculos específicos.

A umidade contida nos grãos em base úmida é a razão entre o peso da água (P_a) presente na amostra e o peso total (P_t) desta amostra:

$U = 100 (P_a/P_t)$ onde:

U = teor de umidade % base úmida (bu)

P_a = peso da água

P_t = peso total da amostra

P_{ms} = peso da matéria seca

A porcentagem de umidade em base seca é determinada pela razão entre o peso da água (P_a) e peso da matéria seca (P_{ms}).

$U' = 100 (P_a/P_{ms})$; onde:>

U' = teor de umidade, % base seca (bs)

Sempre o teor de umidade expresso em b.s. é numericamente maior do que o teor de umidade em b.u. ($U' > U$). Isso porque (U') tem apenas P_{ms} no denominador, que é menor do que (U), em que ele representa o peso total do grão ($P_a + P_{ms}$) e, em ambos os casos, o numerador permanece constante, ou seja, representa sempre o peso da água.

Então, em nosso trabalho, sempre que nos referirmos à umidade dos grãos, estamos nos referindo à base úmida.

Os frutos são colhidos quando estão com no máximo 20% de grãos verdes. Os grãos mais secos estão com mais ou menos 25% de umidade e os cerejas com 65%.

Não importa se foi colhido no pano, no chão ou na máquina. Após a colheita, é levado para ser separado: o café boia, mais seco e o café cereja e verdes. Esse processo é feito por água. Então, de qualquer forma, após a separação, ambos (boia e cereja) têm de ser secos.

Os cafés cereja eventualmente, podem ser fermentados para posterior descasque ou despolpa. Após esta operação, tira-se a casca, e o café também tem de ser seco.

Portanto, uma das fases pós-colheita essencial, é sem dúvida a secagem.

2.3 TECNOLOGIAS DE SECAGEM

Desde o início da cultura no país, o café usa “energia solar” para ser deixado em condições de armazenamento, com uma umidade de 12 % na base úmida.

Como se sabe, os grandes terreirões de café, das fazendas de meados do século XIX e XX, são parte integrante da paisagem dessas propriedades. Eram de terra batida no início.

Como a seca leva vários dias para ser efetuada, a continuidade da colheita vai enchendo o terreirão, exigindo muita mão de obra.

As técnicas de secagem ao sol, no terreiro, são várias: em primeiro lugar, com o café recém lavado e separado, tem de se fazer uma esparramação fina, para enxugar o excesso de água e os frutos devem ser mexidos constantemente, a cada meia hora, com rodos de pau para evitar a descascagem dos mesmos e sempre no sentido do sol, evitando que os montinhos formados pelo rodo façam sombra ao lado. Na prática, a sombra da pessoa que revolve o café deve ficar sempre à sua frente ou atrás.

Pela tarde, faz-se pequenas leiras. Esse procedimento serve tanto para secagem do terreiro como evita que o orvalho noturno coloque mais umidade nos grãos.

Importante observar que jamais se misturam os lotes de café. A colheita de cada dia é lavada, separada em boia e cereja indo separados ao terreiro e os lotes do dia seguinte, também são distintos.

Com o passar dos dias, os montes noturnos de café vão se avolumando: primeiro, faz-se vários montes menores, num estágio onde o café já está mais seco. Daí vai se fazendo montes maiores, até chegar a um só monte, grande, que é inclusive coberto para evitar o orvalho e amontoado na hora mais quente da tarde, para que o próprio calor dos grãos vá igualando todo o lote. Ideal é cobrir com encerado, pois a lona plástica “sua”. Isto ocorre porque o tedlar apresenta uma alta transmissividade na faixa de onda entre 6 a 18 microns.

O café mais úmido é sempre esparramado primeiro, deixando o terreiro “esquentar” para esparramar os mais secos.

Apesar de simples, a tecnologia “solar” de secagem foi evoluindo numa época de mão de obra abundante. Viram que o revestimento do terreirão com ladrilhos de barro permitiam uma boa melhora na qualidade da bebida e com isso, os terreiros foram sendo aperfeiçoados.

Para se fazer o cálculo para construção do terreiro, usa-se o número de cafeeiros, a produção por mil pés e as condições climáticas. Se toda a secagem for feita com uso somente do terreiro, usa-se a seguinte fórmula:

$$S = 0,005 Q.T$$

S = área do terreirão m² para produção de mil pés

Q = média anual de produção de café cereja – n° de litros/1000 pés

T = tempo médio de secagem na região (dias)

Se for utilizar o terreiro apenas para reduzir a umidade de 60% para a metade (30%), o que ocorre em 6 dias e depois utilizar secadores mecânicos, reduz-se em 1/3 o valor de S.

O terreiro geralmente é dividido em quadras, com declividade entre 0,5 a 1,5%, com ralos para escoamento das águas pluviais e esses com grades que não permitam a passagem dos grãos.

Hoje, discute-se o tipo de revestimento ideal, havendo controvérsias quanto ao uso de concreto e de asfalto.

A escassez e o custo da mão de obra, aliados ao baixo preço final do produto, fez com que fossem desenvolvidos secadores para uso na lavoura.

O mais comum, é a propriedade ter um pequeno terreiro para receber o produto lavado (Figura 2.1), usá-lo para retirar o excesso de água e depois colocá-lo no secador.



Figura 2.1 - (a) detalhe do terreiro após a distribuição do café vindo do lavador mostrando a umidade do piso e, (b) operação real de distribuição e revolvimento de café no terreiro.

Fonte: Sousa e Silva, Juarez; Donzeles, Sérgio Maurício Lopes; Lacerda Filho, Adílio F. Construção e Manejo de Terreiros

As universidades que estudam o processo de secagem, incrementaram variações, tais como o desenvolvimento de estufas com terreiros suspensos e ar ventilado quente. Esse processo é bom, evita chuvas, mas é bem caro para construção e manutenção.

Foi feito um estudo, na Universidade Federal de Viçosa MG, para secagem de grãos de café em estufa com ventilação forçada. Especificamente, estudou-se a secagem dos cerejas descascados e esparramados em camadas delgadas de grãos. Construiu-se bandejas com fundos furados e ventilação forçada em sucção, dentro de uma estufa de plástico (casa de vegetação). Foi utilizada uma camada de 10 cm de *Coffea arábica* L., com umidade inicial de 51,5% (o teor de umidade e a perda de água até atingir os 12% foram determinados pelo método da estufa (105 + 3°C) num período de 24 horas) BRASIL (1992).

A velocidade do ar na saída do exaustor foi feita por um anemômetro digital que determina o fluxo de ar através da massa de grãos e o valor encontrado foi de 3,5 m³.min⁻¹.m⁻². Os exaustores funcionavam 10 horas por dia.

A temperatura média do ar de secagem foi maior dentro da estufa (que usa energia solar como aquecimento) ficando a umidade relativa do ar menor devido a esse aquecimento.

Como testemunha, colocou-se o mesmo tanto de café em terreiro comum. As condições internas e externas de temperatura e umidade, foram monitoradas por psicrômetro aspirado. Dentro da estufa, manteve-se 30°C e 60% de umidade. No terreiro ao ar livre, a temperatura ficou em 21°C e umidade de 65%. Observou-se que dentro da estufa, o tempo de secagem foi menor e os grãos ficaram com maior uniformidade no teor de umidade. Em ambos, o resultado foi “bebida mole” - que é a melhor qualificação para um café de qualidade.



Figura 2.2 – Estufa para secagem do café (casa de vegetação)

Fonte: Ribeiro, Rodrigo M.; Correa, Paulo C.; Afonso Júnior, Paulo C.; Couto, Camila N.B.
Secagem de grãos de café utilizando Energia Solar em estufa com ventilação forçada.

Outra variante do processo de secagem em terreiro, é o terreiro solar e biomassa (híbrido) representado nas Fig. 2.3; 2.4 e 2.5; que vem a ser um terreiro convencional onde se adaptou tubulações por onde passará o ar quente e as leiras serão secas sobre essas tubulações ou há caixas com fundos perfurados nos terminais dos tubos onde se colocam os grãos em camada não mais de 0,4 m. Pode ser usado onde não há radiação solar direta, durante a noite ou em época de chuvas.

Este é movido normalmente a lenha, com uma fornalha que fornece ar quente com vazão de 1,5 m³/s. e ventilador centrífugo tocado a motor elétrico que succiona o ar aquecido.

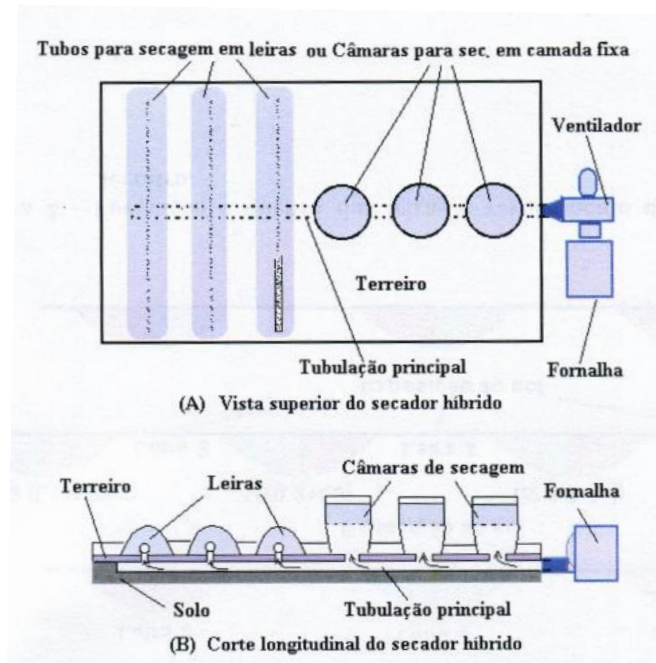


Figura 2.3 - (a) vista superior e (b) corte longitudinal do secador híbrido, com opções para secagem em camada fixa ou em leiras.
Fonte: Sousa e Silva, Juarez; Donzeles, Sérgio Maurício Lopes; Lacerda Filho, Adílio F. Construção e Manejo de Terreiros

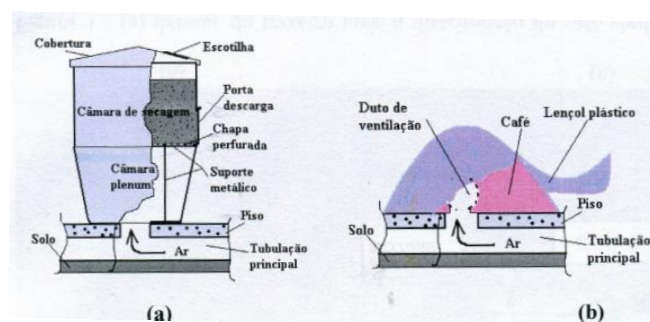


Figura 2.4 - (a) câmara de secagem construída com caixa de fibras de 2.500 litros e (b) detalhes do sistema de secagem em leiras.

Fonte Sousa e Silva, Juarez; Donzeles, Sérgio Maurício Lopes; Lacerda Filho, Adílio F. Construção e Manejo de Terreiros.

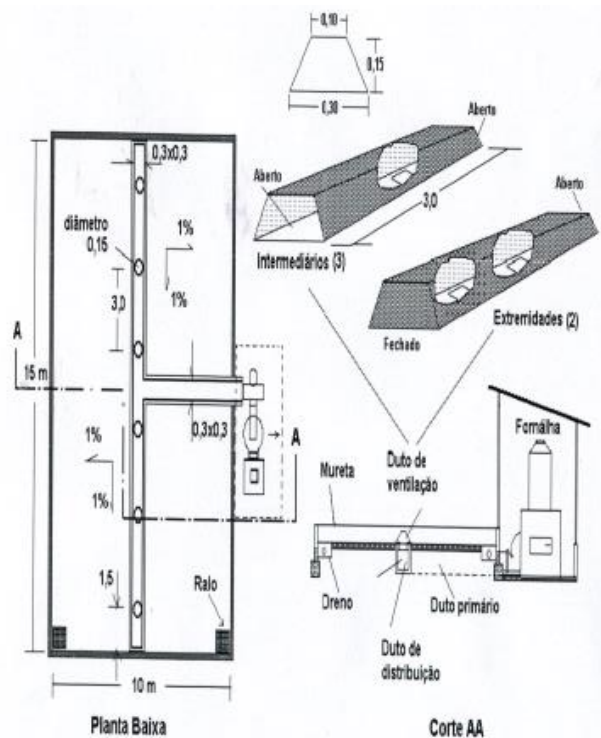


Figura 2.5 - Planta baixa e corte AA do terreiro híbrido, módulo de 150m², e detalhes do sistema de ventilação.

Fonte:Sousa e Silva, Juarez; Donzeles, Sérgio Maurício Lopes; Lacerda Filho, Adílio F. Construção e Manejo de Terreiros.

Outro secador encontrado no mercado, é o que se parece com um silo para grãos (Figura 2.6), com baixo custo inicial, dispensando construções como fossos e moegas. A temperatura alcança 60°C.

Tipos de Silo-Secador-Café

1. Silo-Secador-Café Batelada

É utilizado para o acabamento da secagem do café vindo de um terreiro, de um Silo-Secador Turbo ou Fluxo-Contínuo. Ele também pode ser utilizado para receber o produto diretamente da colheita, sem passar pelo terreiro, quando o café tem grande porcentagem de secos. O SS-Café Batelada homogeneiza a coluna de grãos e padroniza sua umidade.

2. Silo-Secador-Café Batelada Turbo

É utilizado quando se tem somente um equipamento Silo-Secador na fazenda para fazer o processo completo de secagem. Também pode ser usado quando se recebe a produção diretamente da colheita no Silo-Secador, sem passar pelo terreiro. Possui unidade de secagem dupla (ventilador e aquecedor).

3. Silo-Secador-Café Fluxo-Contínuo

Utilizado para se fazer a pré-secagem da produção vinda diretamente da colheita, sem passar pelo terreiro, numa estrutura que trabalha em conjunto com o SS-Café Batelada. Possui unidade de secagem dupla e um sistema de varredura totalmente automatizado, integrado a sensores de temperatura e umidade dos grãos.

Figura 2.6 - Secador modelo silo.

Fonte: WWW.granfinale.com.br/silo-secador/silo-secador-granfinale.html

A proposta do equipamento da Fig. 2.6, é substituir cinco equipamentos de uma unidade convencional. Pode receber o produto direto da lavoura e serve para armazenagem no final da safra. A ideia é desvincular a colheita da secagem, recebendo um volume maior dos grãos úmidos em um dia bom de colheita. Como a umidade é bastante variável entre as cargas que vêm da lavoura, o café vai sendo homogeneizado e ventilado, arrastando a umidade periférica e interna, uniformizando toda a massa. A integridade física do café é preservada pela pequena movimentação. A unidade de secagem (ventilador-aquecedor) produz alto volume de ar aquecido que atravessa toda a massa do produto, carreando a umidade para fora do silo. O piso é perfurado, o que garante a uniformidade do fluxo de ar. Há roscas mescladoras que homogeneizam toda a coluna. A temperatura alcançada preserva as características físicas, fisiológicas, nutricionais e de bebida pela lentidão da secagem.

A fonte de energia usada nesse silo-secador é um trocador de calor a biomassa, o que garante um produto sem cheiro de fumaça e resíduos de fuligem.

Pode-se ainda utilizar um aquecedor a gás GLP ou gás natural ao invés do trocador de calor.

2.4 SECADOR ROTATIVO

Muito difundido atualmente, pela facilidade de operação e escassez de mão de obra, são os secadores mecânicos cilíndricos, que são fornecidos pelo fabricante de forma completa, isto é, com a fornalha acoplada e alguns outros acessórios.

A temperatura no interior da massa do produto também é muito importante, não podendo exceder 45 °C. O excesso de temperatura tira qualidade tanto dos frutos em si, quanto do sabor da bebida.

O fornecimento de energia aos secadores, pode ainda ser feito por gás. Há alguns anos, houve estímulo para que os produtores do interior do Estado de São Paulo convertessem seus secadores a lenha para o gás. Muitos aderiram, mas dizia-se que o preço do gás seria sempre competitivo, o que não ocorreu. Houve o retorno à lenha primitiva.



Figura 2.7 - Secador Rotativo.

Fonte: Pinhalense, Máquinas Agrícolas
Catálogo de Instruções de Montagens e de Funcionamento, 2009.

2.4.1 Secagem

A temperatura na massa de grão fica abaixo de 45°C para evitar a volatilização de substâncias essenciais ao sabor do café. A temperatura do ar da secagem pode variar conforme o momento de seca, pois a evaporação sendo um processo endotérmico tende a manter baixa a temperatura da massa de grão na fase inicial, sendo a umidade do grão elevada. Isto não indica que se deva aumentar indevidamente a temperatura do ar de secagem.

2.4.2 Forno Tubular Duplo

O ar ao ser aspirado pelo ventilador acoplado na coifa de acoplamento, efetua troca de calor com as chapas internas ao passar pelo interior da fornalha.

Estas chapas são aquecidas pela queima de madeira ou resíduos agrícolas, adicionados pela porta de alimentação de lenha, conforme condições de utilização. Assim, o ar aquecido é insuflado no secador com ausência de fumaça ou odores que podem causar perdas de qualidade do produto.

Capacidade – 15 m³

Combustível:

1- Lenha - 80 kg/h

2- Palha – 60 kg/h

Potência térmica (kcal/h): 200.000 kcal/h

Vazão do ar (m³/min) - 200 m³/min

Temperatura do ar (°C) – 85 a 90

A lenha usada, estima-se que seja de eucalipto com densidade de 600 kg/m³, seca e com poder calorífico efetivo PCE = 2.800 Kcal/kg.

A palha é do próprio café e pode variar de 2.800 Kcal/kg até 3.500 Kcal/kg (pergaminho) seco.

A safra do ano de 2015, foi de 45 milhões de sacas de café beneficiado de 60 kgs. Sabemos que para cada saca de café são necessários 480 litros de café recém colhidos. Assim, em quase todas as propriedades são usados secadores mecânicos para secagem, e que esses utilizam ou biomassa (lenha principalmente) ou combustível fóssil (GLP) e que os grãos são recolhidos ao secador com mais ou menos 30% de umidade. No capítulo 3.1 temos o cálculo do gasto energético para secagem da safra de café e o cálculo do rendimento do secador comumente usado.

2.5 RELAÇÃO PESO/VOLUME/NÚMERO DE FRUTOS

Há variações de todos esses fatores dependendo da variedade botânica do cafeeiro, fertilidade dos solos e variações climáticas; mas podemos generalizar nos seguintes números o volume e peso do café durante a secagem (ou desidratação):

- ✓ 1 litro de café em cereja = 620 gramas = 720 frutos;
- ✓ 1 litro de café murcho e seco = 230 gramas, sendo 125 gramas beneficiado e 105 gramas de casca;
- ✓ 1 litro de cereja perde ao secar: $620 - 230 = 390$ gramas; ao murchar perde 45% do volume; reduz-se a $0,55$ litros;
- ✓ 1 litro de boia da roça pesa = 500 gramas; ao murchar perde = 12% do volume; reduz-se a $0,44$ litros; depois de murcho pesa = 440 gramas;
- ✓ 1 litro de café em coco pesa = 455 gramas; contém 11% de umidade; rende beneficiado = 180 a 240 gramas e contém = 1.800 frutos.

2.6 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR

2.6.1 Radiação Solar

A fusão nuclear que ocorre no sol, é chamada de energia solar. É nossa fonte primária de energia, responsável por toda a vida no Planeta, sustentando a temperatura e permitindo a fotossíntese. A energia solar que atinge a superfície da Terra é dez mil vezes a energia consumida hoje pela humanidade.

A radiação, é a transferência de energia por ondas eletromagnéticas. É produzida diretamente pelo Sol e se propaga em todas as direções. O comprimento e a frequência das ondas eletromagnéticas são importantes para determinar sua energia, visibilidade e poder de penetração. Podem ter diferentes comprimentos de onda. Todo comprimento de onda emitido pelo sol é chamado de espectro solar.

A proporção de radiação solar em diferentes regiões do espectro é:

- Ultravioleta - 7%
- Luz Visível - 43%
- Infravermelho - 49%
- restante - 1%

Temos que a Radiação Solar no Brasil, é de 1.500 a 2.400 kwh/m².

Na Alemanha, é de 900 a 1.200 kwh/m² e na Espanha 1.200 a 1.850 kwh/m².

Assim, considerando-se o Sul do Brasil, onde há a menor irradiação solar, ela é até 20 % maior do que a área mais irradiada da Alemanha.

2.6.2 Cálculo da Irradiação Solar no Plano Inclinado

O modelo de Liu e Jordan (1962), modificado por Klein (1977), permite o cálculo da irradiação média diária mensal numa superfície inclinada fixa. Isso permite o cálculo da energia solar disponível para os coletores solares.

Dados necessários aos cálculos:

- ✓ ϕ Latitude do local - $90^\circ < \phi < +90^\circ$

- ✓ δ Declinação solar – Posição angular do sol em relação ao equador ao meio-dia - $23,45^\circ \leq \delta \leq +23,45^\circ$
- ✓ ω_s Ângulo horário do por do sol
- ✓ α Ângulo azimutal da superfície
- ✓ β Ângulo de inclinação da superfície
- ✓ ρ Refletividade média do solo (0,2 para vegetação)
- ✓ \bar{H}_o Irradiação extraterrestre integrada média diária mensal sobre a superfície horizontal (J/m^2 dia)
- ✓ \bar{H} Irradiação média diária mensal incidente sobre a superfície horizontal medida por piranômetro e disponível no atlas solarimétrico (MJ/m^2 dia)
- ✓ \bar{K}_t Índice de claridade diário médio mensal $\bar{K}_t = \bar{H}/\bar{H}_o$
- ✓ \bar{H}_d Componente difuso de irradiação diária média mensal sobre a superfície horizontal (MJ/m^2 dia)
- ✓ \bar{H}_b Componente direto de irradiação diária média mensal sobre a superfície horizontal (MJ/m^2 dia)
- ✓ \bar{H}_{bt} Componente direto da irradiação diária média mensal sobre a superfície inclinada (MJ/m^2 dia)
- ✓ \bar{R}_b Razão entre \bar{H}_{bt}/\bar{H}_b estimada pelo seu valor sem a atmosfera $\bar{R}_b = \bar{H}_{gt}/\bar{H}_g$
- ✓ \bar{H}_t Irradiação média diária mensal sobre a superfície inclinada de um ângulo β em relação à superfície terrestre (MJ/m^2 dia)

A irradiação média diária mensal que incide sobre uma superfície inclinada fixa é assim calculado:

O cálculo para os doze meses do ano para \bar{H}_t na latitude (ϕ) desejada é o seguinte:

➤ Determinação da declinação solar (δ) para o dia médio de cada mês, usando-se a **tabela 2.1**:

Tabela 2.1 - Valores recomendados para avaliações mensais de n dos meses (Duffie & Beckman):

Month	n for i th Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	n	δ
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

^aFrom Klein (1977). Do not use for $|\phi| > 66.5^\circ$.

- ✓ No Atlas Solarimétrico determina-se o valor de \bar{H} mês a mês para a latitude (ϕ) desejada;
- ✓ Para a latitude desejada (ϕ), faz-se a interpolação de \bar{H}_0 mês a mês, utilizando-se a **tabela (2.2)**.

Tabela 2.2 - Radiação média diária extraterrestre. (Duffie & Beckman):

Latitude	Average Daily Extraterrestrial Radiation											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
60	3.5	8.2	16.7	27.3	36.3	40.6	38.4	30.6	20.3	10.7	4.5	2.3
55	6.1	11.2	19.6	29.3	37.2	40.8	39.0	32.2	22.9	13.6	7.2	4.8
50	9.1	14.2	22.3	31.2	38.1	41.1	39.6	33.7	25.3	16.6	10.2	7.6
45	12.1	17.2	24.8	32.9	38.8	41.3	40.0	35.0	27.5	19.4	13.2	10.5
40	15.1	20.1	27.2	34.3	39.3	41.3	40.2	36.1	29.5	22.1	16.2	13.6
35	18.1	22.8	29.3	35.5	39.5	41.1	40.2	36.9	31.3	24.7	19.1	16.7
30	21.1	25.5	31.2	36.4	39.6	40.7	40.0	37.5	32.9	27.1	22.0	19.7
25	23.9	27.9	32.9	37.1	39.4	40.0	39.6	37.8	34.2	29.3	24.8	22.6
20	26.7	30.2	34.4	37.5	38.9	39.1	38.9	37.8	35.3	31.3	27.4	25.5
15	29.3	32.3	35.5	37.6	38.1	38.0	37.9	37.6	36.1	33.1	29.8	28.2
10	31.7	34.1	36.4	37.5	37.1	36.6	36.7	37.1	36.6	34.6	32.1	30.8
5	33.9	35.7	37.1	37.1	35.9	35.0	35.3	36.3	36.8	35.9	34.1	33.1
0	35.9	37.0	37.4	36.4	34.4	33.2	33.6	35.3	36.8	36.9	36.0	35.3
-5	37.6	38.1	37.5	35.4	32.7	31.1	31.7	34.1	36.5	37.7	37.5	37.3
-10	39.1	38.9	37.3	34.2	30.7	28.9	29.6	32.6	35.9	38.1	38.9	39.0
-15	40.4	39.4	36.8	32.7	28.6	26.5	27.4	30.8	35.0	38.3	39.9	40.4
-20	41.4	39.6	36.0	31.0	26.3	23.9	24.9	28.8	33.9	38.2	40.7	41.7
-25	42.1	39.6	35.0	29.0	23.8	21.3	22.3	26.7	32.5	37.8	41.3	42.6
-30	42.5	39.3	33.7	26.9	21.2	18.5	19.7	24.3	30.9	37.2	41.5	43.3
-35	42.7	38.7	32.1	24.5	18.4	15.7	16.9	21.8	29.0	36.3	41.5	43.8
-40	42.7	37.8	30.3	22.0	15.6	12.8	14.0	19.2	27.0	35.1	41.3	44.0
-45	42.4	36.7	28.3	19.4	12.8	9.9	11.2	16.5	24.7	33.7	40.8	44.0
-50	41.9	35.3	26.1	16.6	9.9	7.1	8.3	13.6	22.2	32.0	40.1	43.8
-55	41.3	33.8	23.6	13.7	7.1	4.5	5.6	10.8	19.6	30.2	39.2	43.5
-60	40.6	32.1	21.0	10.8	4.4	2.1	3.1	7.9	16.8	28.1	38.3	43.2

- ✓ Calcular o valor de \bar{K}_t mês a mês, pela fórmula $\bar{K}_t = \bar{H}/\bar{H}_0$
- ✓ Calcular o valor de ω_s pela equação: (2.1)
- ✓ Determinar o valor de ω_s^* pelas equações: (2.2)
- ✓ Calcular a relação \bar{H}_d/\bar{H} mês a mês pela equação: (2.3)

✓ Calcular o valor de \bar{R}_b mês a mês para a superfície de inclinação β pela equação: (2.4)

✓ Calcular o valor de \bar{H}_t mês a mês para a superfície de inclinação β pela equação: (2.5)

Equações:

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)) \quad (2.6.1)$$

$$\begin{aligned} \omega_s^* &= \text{Mínimo entre: } \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \\ &\text{e } \arccos(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan(\delta)) \end{aligned} \quad (2.6.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} &= 0,7750 + 0,00653 (\omega_s - 90) - [0,505 + 0,00455 (\omega_s - \\ &90)] \cos[115\bar{k}t - 103] \end{aligned} \quad (2.6.3)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega_s^* + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s^* \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (2.6.4)$$

$$\bar{H}_t = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \bar{H} \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (2.6.5)$$

2.7 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO

O local aonde serão colocados os coletores deverá ser o mais descampado possível. Se isso não for possível deve-se prestar atenção às sombras causadas por árvores ou construções e que poderão encobrir parte ou toda a área coletora prejudicando dessa forma a captação de energia.

No nosso caso, teremos condições de escolher uma área aberta e se formos usar os coletores em filas há que se considerar o sombreamento dos próprios coletores e calcular então a distância ideal entre as fileiras, para que isso não ocorra. Calcula-se o maior comprimento da sombra projetada pelas fileiras de coletores para se obter a distância de colocação mínima entre eles (D).

Sabemos, pela geometria solar, que o maior comprimento de sombra projetada por um obstáculo no hemisfério sul ocorre no solstício de inverno. Ao meio

dia solar, o Sol está diretamente acima do Trópico de Câncer fazendo então que o ângulo zenital (θ_z) atinja seu valor mínimo nesse dia.

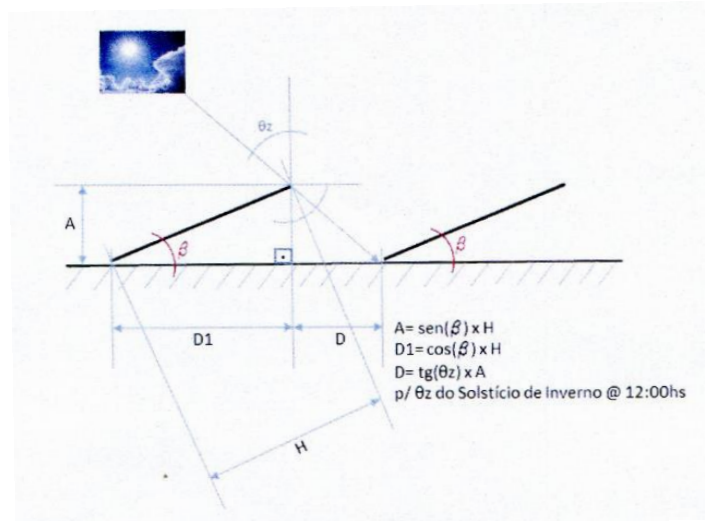


Figura 2.8 - Determinação do espaço mínimo entre fileiras dos coletores.

✓ Cálculo do ângulo zenital (θ_z) para o dia 21/06 ao meio-dia solar da localidade desejada, pela seguinte equação:

$$\cos\theta_z = \sin(\delta) * \sin(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\omega) \quad (2.6)$$

$$\omega = (HS - 12) * 15 \quad (2.7)$$

$$HS = HL + \text{Corhora} \quad (2.8)$$

$$\text{Corhora} = ([4 * (L_o - L)] + E) / 60 \quad (2.9)$$

$$E = 9,87 * \sin(2B) - 7,53 * \cos(B) - 1,5 * \sin(B) \quad (2.10)$$

$$n = \text{Dia} + (\text{Mês} - 1) * 30 + \text{Cor} \quad (2.11)$$

$$\text{Se } 2 < \text{Mes} \leq 8 \quad \text{cor} = \left(\text{Int} \left(\frac{\text{mês}}{2} \right) - 2 \right)$$

$$B = ((360/364) * (n-81)); \quad (2.12)$$

Onde:

ω = Ângulo horário

HS = Hora solar

HL = Hora legal

Corhora = correção da hora

n = dia do ano

Int = menor inteiro contido

✓ A sombra projetada das fileiras de coletores de altura H , com inclinação β em relação à superfície terrestre, equivalente a uma distância D mínima entre as fileiras calcula-se pela seguinte equação:

$$D = \tan(\theta_z) * \sin(\beta) * H \quad (2.13)$$

A área a ser usada pelos coletores é a área individual deles, multiplicada pelo número total. Se eles ficarem dispostos como a figura 2.8 acima mostra, a área total mínima da superfície terrestre (A_{rs}) usada pelos coletores deve incluir a área entre as fileiras e a área de projeção da fileira anterior sobre a superfície terrestre e então, o cálculo será pela equação:

$$A_{rs} = (D1 * L * N_{cf} * N_f) + [(D * L * N_{cf}) * (N_f - 1)] \quad (2.14)$$

Sendo:

$$D1 = \cos(\beta) * H \quad (2.15)$$

H = altura do coletor

L = largura do coletor

D = calculado pela equação (2.13)

N_{cf} = Número de coletores por fileira

N_f = Número de fileiras

Conforme a Figura 2.9 a área do arranjo ($L1$ e $L2$) são calculadas pelas equações:

$$L1 = (D + D1) * N_f - D \quad (2.16)$$

$$L2 = L * N_{cf} \quad (2.17)$$

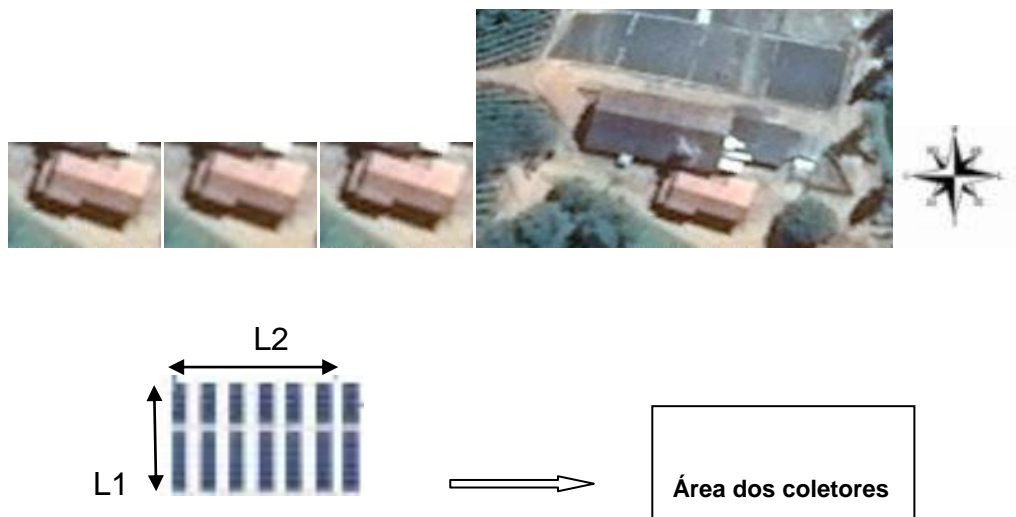


Figura 2.9 - Croqui da área dos coletores, distribuição das casas e construções próprias ao manejo de secagem e estocagem do café
Fonte: própria.

Há dois tipos de coletores solares: Os planos e os concentradores.

Ambos são trocadores de calor especiais, que transformam energia solar radiante em calor. Diz-se que é um tipo especial de trocador de calor, porque a energia é transferida de uma fonte distante (Sol) para um fluido. Nos convencionais, usa-se normalmente um fluido em alta temperatura, que transmite o calor para um outro fluido em temperatura mais baixa com altas taxas de transferência.

O fluxo da radiação incidente é no máximo aproximadamente 1 kW/m^2 , sendo variável. O comprimento de onda varia entre $0,3$ a $3\mu\text{m}$ e é considerada mais curta do que a radiação emitida de muitas superfícies que absorvem energia.

2.8 Coletores Solares Planos

Os coletores solares planos foram projetados para fornecer energia a temperaturas médias no máximo um pouco acima de 100°C , quando recebem um tratamento superficial para esse fim. Eles usam a radiação solar direta e difusa, não precisam acompanhar o sol e pequena manutenção. O seu maior uso, é no aquecimento de água, aquecimento de casas (onde se acumula calor nas paredes), ar condicionado e processos industriais.

As partes mais importantes de um coletor solar plano são expostas na figura 2.10, e são: superfície negra de absorção solar, que recebe a radiação e a

transmite para o fluido, vidro transparente à radiação solar acima da superfície de absorção, que reduz a convecção e perdas da radiação para a atmosfera e isolamento na parte de trás para reduzir as perdas por condução.

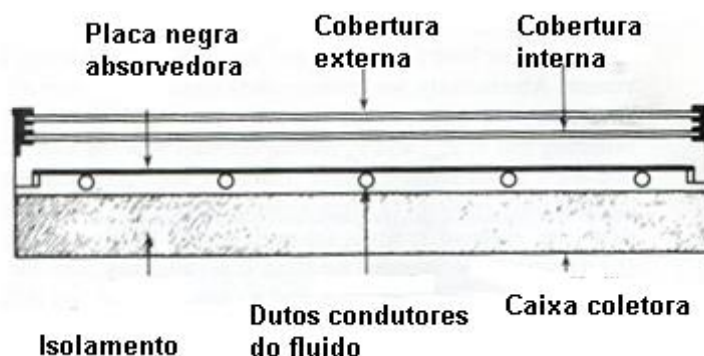


Figura 2.10 - Corte de um coletor solar plano

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

A operação dos sistemas solares, são transitórias. Estudos feitos por Klein et al (1974) e Wijeysondera (1978), sobre a capacidade de aquecimento dos coletores planos e sua performance foram por eles calculados. Esses efeitos podem se dividir em duas partes:

- a. Capacidade de aquecimento do coletor de manhã cedo, com baixa temperatura até a tarde.
- b. Capacidade do sistema quando a radiação solar e o vento mudam rapidamente.

ASHRAE 93 (2003) prevê quatro procedimentos para aquecedores solares:

1. Controle da temperatura de entrada do fluido do aquecedor. Testes são feitos baseados nessa temperatura de entrada;
2. A radiação é medida por piranômetro na superfície plana do coletor;
3. Medição do fluxo, temperatura de entrada e saída do fluido e condições do ambiente;
4. Medição da pressão e variação dessa pressão no coletor.

A figura 2.11 mostra como deve ser montado os coletores planos para aquecimento de líquidos.

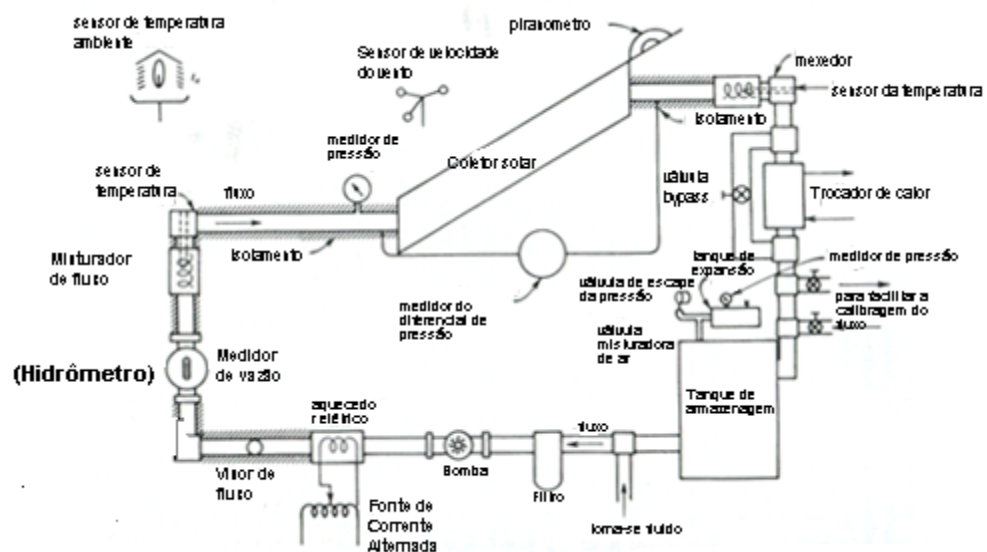


Figura 2.11 - Sistema circular fechado para aquecimento de líquidos com coletores planos

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

2.9 Coletores Solares Concentradores

Para muitas aplicações, é desejável que se tenha energia em temperaturas mais altas do que aquelas possíveis nos coletores planos. Isso pode ser conseguido, diminuindo a área onde ocorrem as perdas de calor e colocando-se um instrumento ótico entre a fonte de radiação e a superfície absorvedora de calor.

Há muitos tipos de concentradores; podem ser refletores, refratores, superfícies cilíndricas, e de superfície contínua ou segmentada. Os receptores podem ser convexos ou côncavos, planos e podem ser cobertos ou não. As taxas de concentração (taxas que passam pela abertura do coletor para a área de absorção, onde o fluxo de radiação é concentrado), podem variar bastante.

As variações das taxas de concentração podem ser pequenas ou grandes, desde unidades até valores de 10^5 . Aumentando-se as taxas, significa aumento de temperatura e sofisticação dos aparelhos, exigindo precisão no sistema ótico.

Pode-se obter aparelhos de altíssima precisão ótica nos concentradores solares e são chamados de fornalhas solares. São ferramentas de laboratório para estudo de materiais em altas temperaturas ou outros processos.

Do ponto de vista da engenharia, os concentradores solares apresentam problemas adicionais dos coletores planos. Eles devem acompanhar o sol para que a radiação seja direta na superfície de absorção. Sua manutenção também é mais dispendiosa, pois há necessidade de se manter a qualidade do sistema ótico por longos períodos, é mais sensível à presença de sujeira, oxidação e outros componentes atmosféricos.

A figura 2.12 mostra os diferentes modelos existentes.

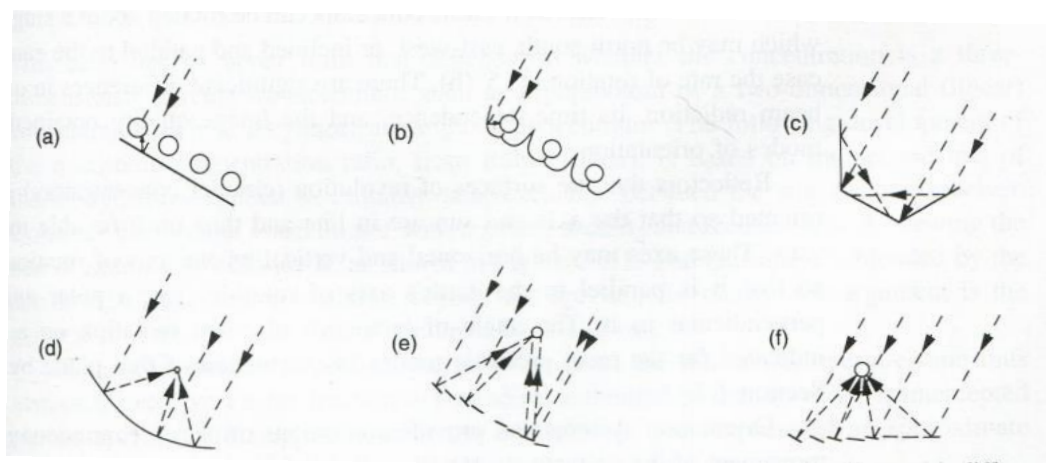


Figura 2.12 - Configurações possíveis de coletores: a) tubular com refletor difuso atrás; b) tubular com refletores especulares; c) receptor e refletores planos. d) parabólico e) Fresnel f) conjunto heliostático com receptor central

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

2.10 EFEITOS DA SUJEIRA E SOMBREAMENTO NOS COLETORES

Em climas temperados, calcula-se que a radiação absorvida pode ter uma redução de 1%; em climas secos e empoeirados, essa absorção pode ser reduzida em 2%.

Os efeitos de sombreamento também são significativos. Se o ângulo de incidência não estiver correto, a própria estrutura do coletor pode interceptar a radiação. Muita dessa radiação pode ser refletida da superfície de absorção, se as laterais forem de um material refletivo. Hoje, usa-se uma cobertura e os módulos são mais largos para reduzir esse efeito.

2.11 ENERGIA SOLAR – ARMAZENAMENTO

A energia solar é um recurso natural tempo-dependente. A energia necessária para uma grande gama de aplicações também são tempo-dependentes, mas de forma diferente da energia solar. Portanto, o armazenamento de energia ou outros produtos que dependem do fator solar, é necessário se forem usadas porções significativas desse tipo de energia. O armazenamento da energia deve ser considerado à luz do sistema (processo) solar e os componentes necessários são: coletor, unidades de armazenagem, dispositivos conversores (como ar condicionado ou motores), cargas, fornecedores de energia e controle de sistemas. A performance de cada um desses componentes depende do todo. A dependência da qualidade do coletor faz toda a diferença no sistema. A eficiência de armazenamento num sistema passivo, depende da absorção de energia. Para se atingir a capacidade ideal de uma energia armazenada depende do tempo de radiação disponível.

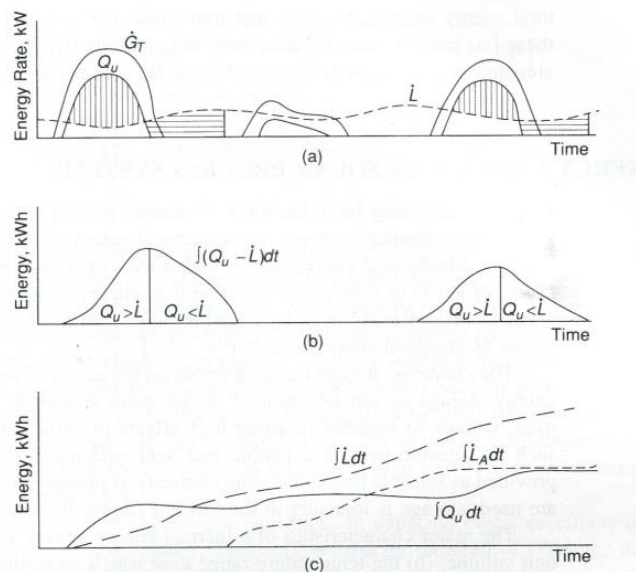


Figura 2.13 - Energia Solar com estocagem: a) E.solar incidente G_T , ganho do coletor Q_u e cargas L como função de tempo por três dias. Áreas verticais sombreada mostra tempos com excesso de energia para ser estocadol Áreas horizontais sombreadas mostra energia retirada do tanque para a carga. Linhas pontilhadas mostram energia requerida dos coletores durante a operação deles. Energia adicionada ou retirada da estocagemé $t=0$.c) Valores integrados do ganho do coletor, da carga e energia auxiliar pelos 3 dias. Nesse exemplo, a energia solar coletada é ligeiramente maior do que a metade da carga integrada.

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

A figura 2.13 mostra o quanto a armazenagem de energia depende do tempo; é função dele. O armazenamento dessa energia é também muito importante para determinar o rendimento, eficiência do sistema. Se não houver armazenagem, o ganho solar será bastante reduzido. Se pensarmos em sistemas mistos, com

energia solar e elétrica, por exemplo, o uso da energia solar será muito maior (e a economia de energia) com a armazenagem.

2.12 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS SOLARES

O armazenamento pode ocorrer em sólidos ou líquidos. A fusão química, reações reversíveis também são métodos de armazenamento.

Os produtos de processos solares também são passíveis de armazenagem, como por exemplo, a água destilada provinda de destiladores solares, pode ser armazenada para ser consumida gradualmente e a energia fotovoltaica pode ser armazenada em baterias.

A escolha do tipo de armazenamento, depende da natureza do processo.

Para aquecimento de água, um coletor que absorva o calor. Se aquecedores de ar são usados, armazenagem em unidades sensíveis ao aquecimento em trocadores de lastro rugoso.

As principais características dos armazenadores são: a) capacidade por unidade de volume; b) a temperatura na qual opera, que é a temperatura na qual o calor é adicionado e removido do sistema; c) como há a adição ou remoção do calor e as diferenças de temperatura que ocorrem; d) estratificação da temperatura na unidade de armazenamento; e) a força requerida para adição ou remoção do calor; f) os tanques ou qualquer outro elemento de controle térmico das perdas pelo sistema; h) o custo.

Importância especial de qualquer armazenamento, são os fatores que afetam o funcionamento do coletor solar. A eficiência deste diminui em temperaturas altas ou quando estas se elevam. A relação entre a temperatura média do coletor e a temperatura da radiação, é assim definida:

$T(\text{coletor}) - T(\text{radiação solar}) = \Delta T$ (transporte do coletor à unidade armazenadora)

+ ΔT (dentro do armazenador)

+ ΔT (perdas do armazenador)

+ ΔT (perdas fora do armazenador)

+ ΔT (transporte do armazenador ao lugar de uso)

+ ΔT (no lugar de uso)

2.12.1 Armazenagem de Água

Para muitos sistemas solares, a água é o material ideal para se estocar o calor a ser usado. Um sistema típico em que um tanque de água é usado é mostrado na figura 2.14:

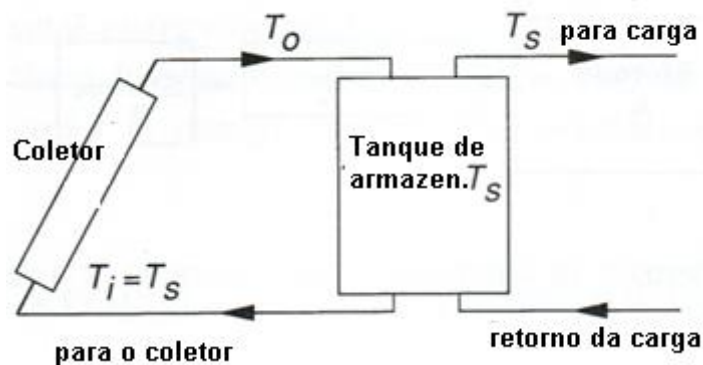


Figura 2.14 - Sistema típico de tanque de estocagem com circulação da água pelos componentes do sistema.

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

Pode-se usar circulação forçada (com bomba) ou circulação natural. Pode-se usar aí também um trocador de calor. A capacidade de armazenagem de água (ou outro líquido) à uma temperatura uniforme de operação acima da diferença de temperatura final é dada quando Q_s é a capacidade total de calor para operação do ciclo pela temperatura ΔT_s e m é a massa de água da unidade. A temperatura acima da qual cada unidade pode operar é limitada à mínima para a maior parte das aplicações do processo. O limite máximo do processo, a pressão de vapor do líquido ou a perda de calor do coletor.

$$Q_s = (m \cdot C_p)_s \Delta T_s \quad (2.18)$$

A Figura 2.15 representa um tanque não estratificado de estocagem de massa :



Figura 2.15 - Tanque não estratificado de estocagem de massa m dependente da Temperatura T_s em ambiente de Temperatura T_a

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

Um balanço de energia num tanque não estratificado, como a figura 2.15 mostra, é:

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_u - \dot{L}_s - (UA)_s (T_s - T'_a) \quad (2.19)$$

A equação acima é para determinar a duração da temperatura de armazenagem na unidade e o processo solar.

Onde Q_u e \dot{L}_s são taxas de adição ou remoção de energia do coletor e da radiação e T'_a é a temperatura ambiente do tanque (que não pode ser a mesma do coletor que fornece energia para o tanque.

$$T_s^+ = T_s + \frac{\Delta T}{(mC_p)_s} [Q_u - L_s - (UA)_s (T_s - T'_a)] \quad (2.20)$$

A temperatura ao final de uma hora é calculada da do início, sendo que Q_u , \dot{L}_s e a perda do tanque não varia durante essa hora. Na primeira equação, são taxas e na segunda são integradas quantidades para a hora. O símbolo Q_u é usado em ambas as equações como sendo a energia do coletor. A radiação horária é geralmente considerada.

2.12.2 Estratificação em Tanques de Armazenagem

Os tanques de água para armazenagem operam com grau significativo de estratificação, isto é, com a água do topo mais quente que a do fundo. Há duas categorias de tanques estratificados: O *multiseções*, que como o nome diz, é dividido em N seções com balanceamento de energia de cada seção do tanque. O resultado é que obtemos N equações diferenciais que podem ser resolvidas para a temperatura das N seções em função do tempo. O segundo tipo, é o *plug flow* onde se assume que o líquido tem várias temperaturas e se move no tanque num fluxo intercalado. Cada uma dessas categorias tem muitas variações e a seleção do modelo depende do seu uso.

O grau de estratificação depende do desenho do tanque, do tamanho, da localização, desenho da entrada e saída, do fluxo. É possível obter tanques com fluxo baixo de entrada e saída que possuem grande estratificação Gari and Loehrke, 1982; Van Koppen et al. (1979). Os efeitos da estratificação nos processos solares podem ser suportados calculando o desempenho com os tanques cheios que contenham mexedores e tanques altamente estratificados.

A figura 2.16 mostra o esquema de tanques estratificados:

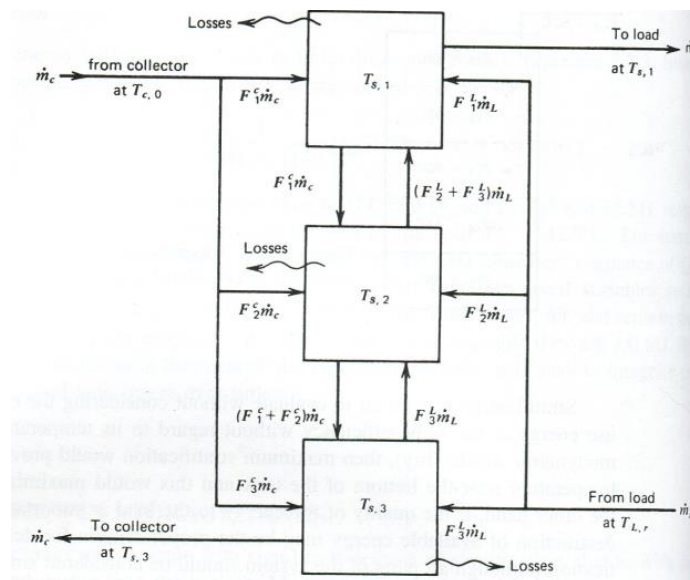


Figura 2.16 – 3 Tanques de estocagem estratificados

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

Há que se considerar o uso final para avaliar a estratificação. Se a carga pode usar energia com a mesma eficiência sem considerar o grau de temperatura

(que é uma avaliação termodinâmica), então uma estratificação máxima pode prover uma temperatura mínima possível perto do fundo do tanque e melhorar a eficiência do coletor solar. De outra forma, se a qualidade da energia para a carga é importante, minimizando a variação dessa energia pode-se obter mais eficiência (apesar de que todas as partes do sistema devam ser consideradas simultaneamente).

2.12.3 Armazenamento em Leitos de Pedra

Geralmente ar é usado para circular através dessa cama, para adicionar ou remover energia. Uma grande variedade de sólidos pode ser usada, sendo pedras o mais usado. Esse método possui fatores desejáveis para aplicação solar. O coeficiente de transferência de calor entre o ar e o sólido é alto; o custo dos materiais usados são baixos, a condutividade da cama é baixa quando não há fluxo de ar e a pressão da cama em si é baixa. A maior vantagem desse método é o alto grau de estratificação.

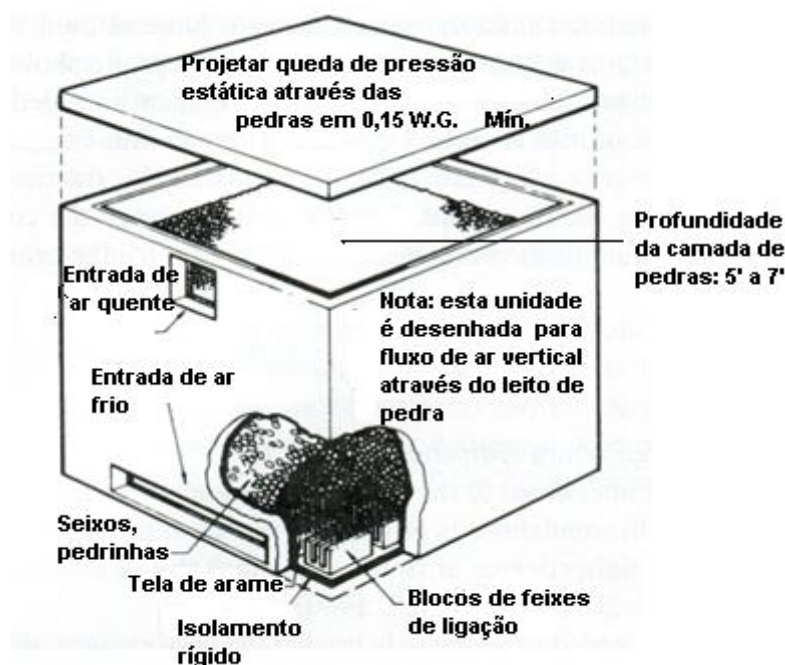


Figura 2.17 - Unidade de estocagem
Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

2.13 CÁLCULOS DE PERFORMANCE PARA UM SISTEMA TÉRMICO

É possível estimar a performance térmica de um processo solar num período de tempo com informações do tempo e o uso requerido de energia.

O rendimento do coletor é função da temperatura do fluido que passa por ele. A temperatura que sai desse coletor representa a temperatura de entrada no tanque de armazenamento. Os fatores meteorológicos (radiação, temperatura, velocidade do vento e umidade) devem ser considerados nos cálculos.

A taxa de ganho de um coletor pode ser assim descrita:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)]^+ \quad (2.21)$$

O sinal + implica a presença de um controlador e somente valores positivos são usados. Operações de circulação forçada não são consideradas quando $Q_u < 0$ (ou quando $Q_u < Q_{\min}$ onde Q_{\min} é o nível mínimo de energia ganho que justifique o bombeamento do fluido pelo sistema). Na prática, seria comparar a temperatura do fluido que deixa o coletor com a temperatura do fluido na saída do tanque de armazenamento e somente ligar o sistema de bombeamento quando a diferença das temperaturas for positiva e aí a energia possa ser coletada.

O ganho de energia útil também pode ser dado por:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (2.22)$$

onde \dot{m} é a circulação do líquido dentro do coletor, executado pela bomba.

Se a unidade de armazenamento for adaptada com mexedores, a equação seria:

$$(\dot{m} C_p)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_u - L_s - (UA)_s (T_s - T'_a); \text{ sendo:} \quad (2.23)$$

L_s – taxa de energia retirada para a carga, sendo tempo dependente;

Q_u e T'_a – também são dependentes do tempo

Geralmente há um trocador de calor entre o coletor e o tanque de armazenamento, onde um anticongelante pode ser usado nos coletores. Se o encanamento que vai do coletor ao tanque não for bem isolado termicamente ou bem ensolarado, as perdas sofridas nesse trajeto devem ser consideradas.

2.13.1 Fator do Coletor com Trocador de Calor

Os coletores são frequentemente combinados com um trocador de calor entre o coletor e o tanque de armazenamento, como na figura 2.18:

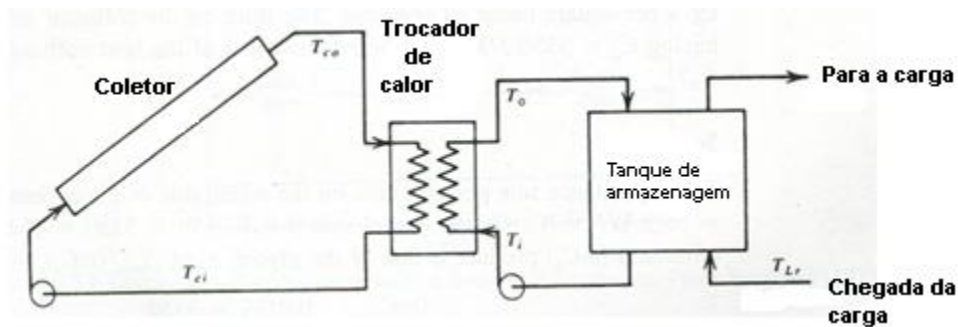


Figura 2.18 - Trocador de calor entre o coletor e o tanque de estocagem
Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
 Solar engineering of thermal processes

O ganho do coletor é representado pelas equações 2.21 e 2.22 escritas como T_{ci} e T_{co} .

A performance do trocador de calor é expressa, segundo Kays e London, 1964 pela seguinte equação:

$$Q_{HX} = \epsilon(\dot{m}C_p)_{\min} (T_{co} - T_i) \quad (2.24)$$

$(\dot{m}C_p)_{\min}$ é a menor taxa de capacitância do fluido (taxa do fluxo \dot{m} de aquecimento C_p no lado coletor $(C_p)_c$ e no lado do tanque $(\dot{m}C_p)_t$ do trocador de calor; T_{co} é a temperatura do fluido na saída do coletor e T_i é a temperatura da água na entrada do trocador de calor (muito próxima da temperatura do fundo do tanque).

Para um trocador de calor de fluxo contrário, ϵ é calculada por:

$$\epsilon = \frac{1 - e^{-NTU(1-C^*)}}{1 - C^*e^{-NTU(1-C^*)}} \quad \text{se } C^* \neq 1 \quad \text{e} \quad \epsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad \text{se } C^* = 1$$

Combinando as equações 2.21; e a 2.24, temos:

$$Q_u = A_c F'_R [S - U_L (T_i - T_a)]^+ \quad (2.25)$$

O fator F'_R acusa a presença do trocador de calor e é dado por:

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \left(\frac{A_c F_R U_L}{(\dot{m} C_p)_c} \right) \left(\frac{(\dot{m} C_p)_c}{\epsilon (\dot{m} C_p)_{\min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (2.26)$$

Os fatores F'_R/F_R são uma penalidade na performance do coletor, porque o aumento da temperatura faz com que este opere em temperatura mais alta do que seria a ideal. Outra maneira, seria considerar o F'_R/F_R como um incremento de área que o sistema precisa se não houvesse o trocador de calor.

A figura 2.19 traz o fator de correção para o trocador de calor como função de $\epsilon((\dot{m} C_p)_{\min}/(\dot{m} C_p)_c)$ e $(\dot{m} C_p)_c / F_R U_L A_c$.

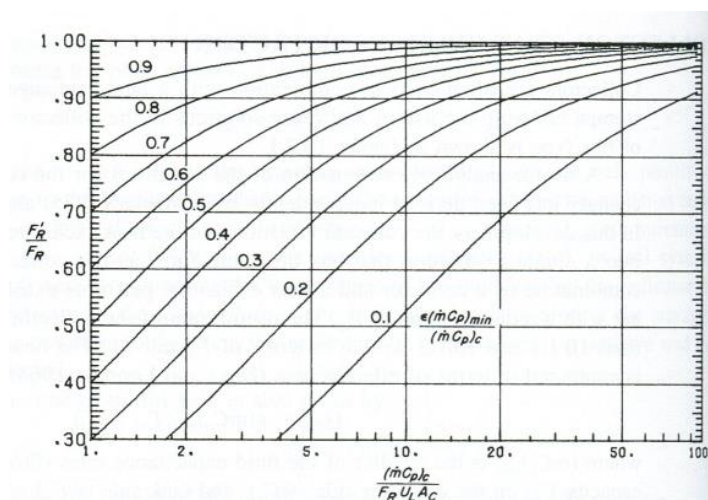


Figura 2.19 - Fator de correção para trocador de calor como função de $\epsilon((\dot{m} C_p)_{\min}/(\dot{m} C_p)_c)$ e $(\dot{m} C_p)_c / F_R U_L A_c$

2.13.2 Fatores de Perda no Encanamento

A perda de energia da tubulação que sai e retorna ao coletor num sistema de energia solar, é significativa. Beckman (1978) mostrou que a combinação dos dutos mais o coletor é equivalente quanto à performance térmica, com coletores com diferentes valores de U_L e $(\tau \propto)$.

A figura 2.20 mostra a distribuição da temperatura através dos dutos de um coletor.

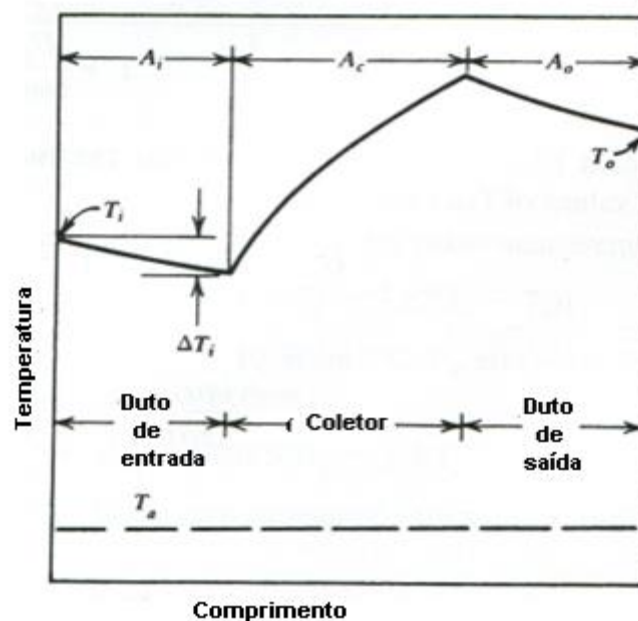


Figura 2.20 - Distribuição da Temperatura através dos dutos de um coletor

Fonte: Duffie, John A. & Beckman, William A.
Solar engineering of thermal processes

2.14 TROCADORES DE CALOR

São classificados de acordo com o sentido do fluxo e tipo de construção. O mais simples deles, é aquele onde os dois fluidos - quente e frio - seguem o mesmo sentido ou sentidos opostos em tubos concêntricos ou duplos. No fluxo paralelo da figura 2.21a, o quente e o frio entram e saem ao mesmo tempo e na mesma direção. No da figura 2.21b, os fluidos entram e saem em direções opostas.

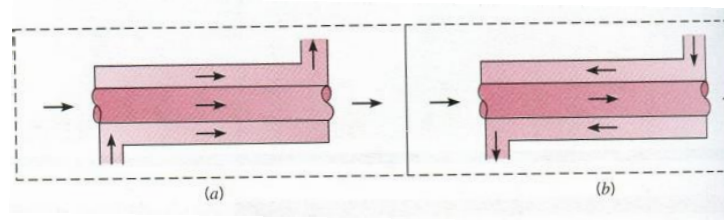


Figura 2.21 - Trocadores de calor de tubos: a) fluxo paralelo;
b) fluxo contrário.

Fonte: Incropera, Frank P. & DeWitt, David P.
Fundamentals of heat and mass transfer

Há a alternativa da figura 2.22a, onde os fluidos se movem perpendicularmente um ao outro. Na figura 2.22a, diz-se que é sem mistura, porque as placas asseguram que o movimento se faça na direção (y) que é transversa ao fluxo principal (x). Nesse caso, a temperatura do fluido varia com (x) e (y).

Na figura 2.22b, como não há placas, o fluido se move misturando-se na direção transversa e a variação de temperatura do fluido é primeiro na direção principal.

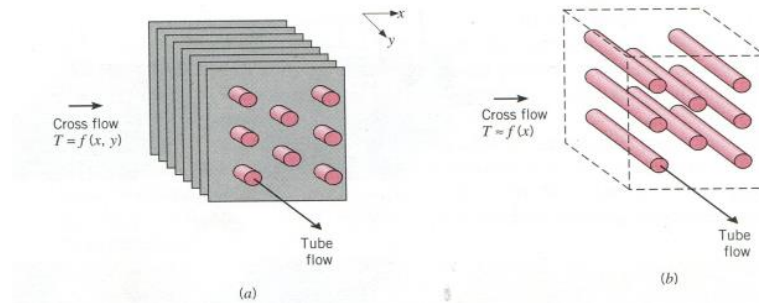


Figura 2.22 - Trocadores de fluxo de passagem: a) placas com ambos os fluidos sem se moverem; b) Sem placas, onde um fluido se movimenta e o outro não.

Fonte: Incropera, Frank P. & DeWitt, David P.
Fundamentals of heat and mass transfer

Então, no trocador de placas, ambos os fluxos não se misturam. No que não tem as placas, um fluxo não se mistura, mas o outro sim, causando grande variação de performance do trocador.

A tabela 2.3 mostra as substâncias mais usadas em trocadores de calor com seus respectivos valores:

Tabela 2.3 – Valores representativos das substâncias mais usadas em trocadores de calor

Combinação dos Líquidos	U (W/m ² · K)
Água com água	850–1700
Água e óleo	110–350
Condensador de vapor (água nos tubos)	1000–6000
Condensador com amônia (água nos tubos)	800–1400
Condensador com álcool (água nos tubos)	250–700
Trocador de Calor aletado (água nos tubos e ar no fluxo contrário)	25–50

Fonte: Incropera, Frank P. & DeWitt, David P.
Fundamentals of heat and mass transfer

3 ESTUDO DA SECAGEM DE CAFÉ NA REGIÃO DA MOGIANA, CIDADE DE AGUAÍ, SP

3.1 BALANÇO DE MASSA E TÉRMICO DE UMA BATELADA NO SECADOR

O secador comumente usado pelos produtores, utilizando lenha ou GLP como combustível é o secador rotativo, que para referência deste estudo foi eleito o de marca Pinhalente, modelo FTD 05 com dados nominais mostrados da Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Dados Nominais do Secador Rotativo Pinhalense

Capacidade FTD's					
TAMANHO	COMBUSTIVEL (Kg/h)		POTENCIA TERMICA (Kcal/h)	VAZÃO DO AR (m³/min)	TEMPERATURA DO AR (°C)
	LENHA	PALHA(OPCIONAL)			
FTD-01	40	30	100.000	100	85 A 90
FTD-04	45	65	150.000	150	85 A 90
FTD-05	80	60	200.000	200	85 A 90

3.1.2 Balanço de Massa no Secador

Uma saca de café com 60 kg apresenta um volume de 480L de material. Avalia-se então a densidade bulk do café como:

$$\rho_B = 60/0,48 = 125 \text{ kg/m}^3$$

Em cada batelada do secador são descarregados 15 m³ de material constituído por aproximadamente 50% de café beneficiado e o restante de casca e pergaminho. Supondo que toda esta massa possua uma densidade bulk igual à do café teríamos $15 \text{ m}^3 \times 125 \text{ kg/m}^3 = 1.875 \text{ kg}$ de material a ser descarregado com 12% de umidade BU. Destes, a metade, 937,5 kg é constituída por café beneficiado e o restante por casca mais pergaminho.

Este material possui 12% de umidade na base úmida

Massa de água descarregada

$$M_{\text{agf}} = 1.875 \cdot 0,12 = 225 \text{ kg de água descarregada (final)}$$

O material seco tem massa

$$M_D = 1.875 - 225 = 1650 \text{ kg de material seco dos quais 825 kg de café seco.}$$

Água inicial no carregamento do secador considerando uma umidade inicial na base úmida de 30%

$$M_{\text{agi}} = 0,30 \cdot 1650 + 0,30 M_{\text{agi}}$$

$$M_{\text{agi}} = (0,3 \cdot 1650) / 0,7 = 707 \text{ kg de água inicial}$$

O secador evapora por batelada M_E

$$M_{\text{age}} = 707 - 225 = 482 \text{ kg de água evaporada por batelada}$$

Para secar uma batelada, conforme informação do fabricante do secador (Pinhalense) o secador leva 36 horas, consumindo 80 kg/h de lenha.

Massa de lenha consumida por batelada

$$M_L = 36 \text{ h} \cdot 80 \text{ kg/hora} = 2880 \text{ kg de lenha/batelada}$$

Em resumo o secador por batelada processa 1650 Kg de material seco que contem 225 kg de água e evapora 482 kg de água. Nesta operação consome 2880 kg de lenha.

3.1.3 Balanço Térmico no Secador

Informações sobre o Secador Pinhalense FTD -05

A lenha utilizada como combustível é eucalipto, com densidade bulk de 600 kg/m³ seca e PCI=2800 kcal/kg = 11704 kJ/kg.

Temperatura do ar na entrada do secador entre 85 a 90°C

Potência térmica disponível 200.000 kcal/h

Necessidades básicas de energia

a) Evaporar a água

$$\Delta H_E = 482 [\text{kg água evaporada}] \times 2500 \text{ kJ/kg} = 1.205.000 \text{ kJ}$$

b) Aquecimento do material até 35°C. Calor específico da massa com sua umidade, estimado em 2,5 kJ/kg °C

$$\Delta H_A = 1650 \times 2,5 \times (35-20) = 61.875 \text{ kJ}$$

c) Necessidade básica de energia:

$$\Delta H = \Delta H_E + \Delta H_A = 1.205.000 + 61875 = 1.266.875 = 1,27 \cdot 10^6 \text{ kJ/batelada}$$

d) Energia disponibilizada pela lenha:

$$\Delta H_L = PCI \times M_L = 11.704 \times 2880 = 33.707.520 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_L = 33,7 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

e) Cálculo do rendimento do secador η_T :

$$\eta_T = \Delta H / \Delta H_L = 1,27 / 33,7 = 0,038 \text{ ou } 3,8\%$$

3.1.4 Estimativa de carga térmica para a propriedade

Para secagem das 500 sacas de café da propriedade objeto de estudo, usando lenha como combustível, é necessário um total de 37 bateladas, pois como foi determinado no item. 3.1.2 Balanço de massa do secador, o material seco tem massa $M_D = 1.875 - 225 = 1650 \text{ kg}$ dos quais 825 kg de café seco.

Temos então:

$$500 \text{ sacas} = 30.000 \text{ kg ou } 30 \text{ ton.}$$

No item 3.1.3 Balanço Térmico no Secador quando se calculou a necessidade básica de energia, concluiu-se que cada batelada demora 36 horas; então tem-se que:

$$(36 \text{ h/batelada}) \times (80 \text{ kg lenha/h}) / (825 \text{ kg café seco/batelada}) = 3,49 \text{ kg de lenha/kg de café seco ou } 3490 \text{ kg de lenha /ton de café seco}$$

Assim, para a seca de 30 ton café (500 sacas limpas de 60 kg), precisa-se de 3490 Kg de lenha/ton café seco x 30 ton café seco= 104700 kg de lenha que corresponde a 104700 kg / 600 kg de lenha/m³ = 174,5 m³ de lenha/30 ton café..

Portanto, são necessários 5,817 m³ de lenha para a secagem de 1 tonelada de café.

Nossa proposta de substituição de 38% desse total por energia solar, traria uma economia em lenha de 66,3 m³ de lenha/30 ton de café.

Atualmente, o preço de 1 m³ de lenha na região, colocada no local (frete), fica em torno de R\$ 70,00.

Então, a economia efetiva em dinheiro, seria de $R\$70/m^3 \times 66,3 \text{ m}^3 = R\$ 4.641,70$ que será a receita do fluxo de caixa da safra.

3.2 ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA PARA A SAFRA DE CAFÉ BRASILEIRA

Neste item, calculamos o gasto energético para secagem da safra de café brasileira, do ano de 2015, que foi de 45 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg.

Estabeleceu-se o seguinte roteiro:

Sacas colhidas no ano de produção 2015 : $45 \cdot 10^6$ sacas beneficiadas com massa de 60 kg/saca

Este valor corresponde a aproximadamente 50% do material sólido descarregado pelo secador sendo os outros 50% constituídos de pergaminho e casca

Massa descarregada pelo sistema de secagem

$$[(45 \cdot 10^6)/0,50] \cdot 60 = 5,400 \cdot 10^6 \text{ kg contendo 12\% de umidade B.U.}$$

Massa de água final descarregada no secador

$$M_{\text{água}} = 0,12 \cdot 5,400 \cdot 10^6 = 648 \cdot 10^6 \text{ kg de água}$$

Massa de material seco

$$M_{\text{café}} = (5,400 - 648) \cdot 10^6 = 4,752 \cdot 10^6 \text{ kg de material seco}$$

Umidade do material ao entrar no secador 30% na BU

Massa inicial de água no material que entra no secador:

$$0,30 = M_{\text{agi}} / (M_{\text{agi}} + 4,752 \cdot 10^6)$$

$$M_{\text{agi}} = 0,30 \cdot 4,752 \cdot 10^6 + 0,30 M_{\text{agi}}$$

$$M_{\text{agi}} = 1425,6 \cdot 10^6 / 0,70 = 2036 \cdot 10^6 \text{ kg de água}$$

Água para evaporar na safra

$$M_{\text{age}} = (2036 - 648) \cdot 10^6 = 1388 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

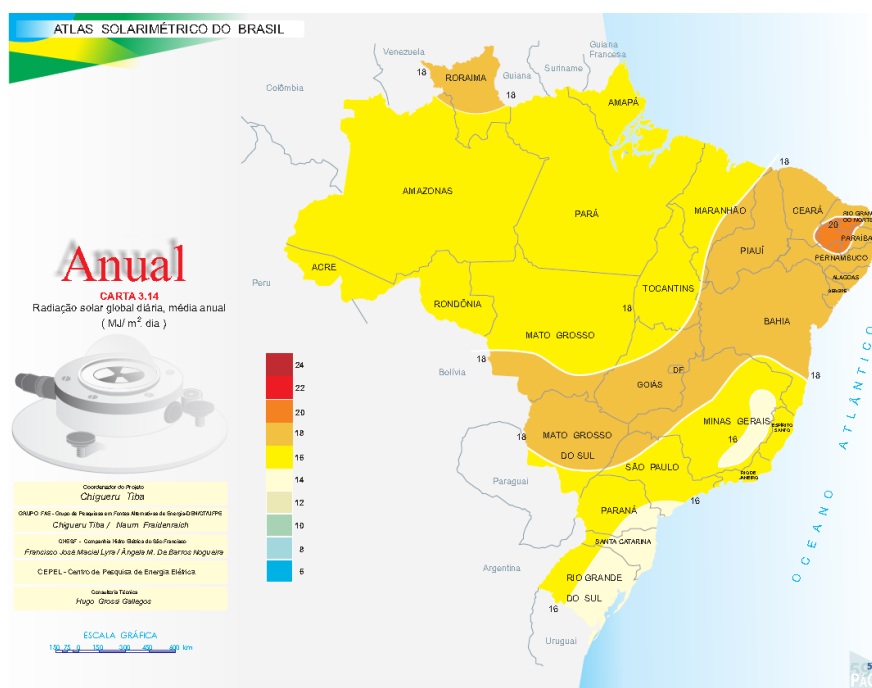
Estimando apenas para evaporar a água 2500 kJ/kg chegaríamos a uma carga térmica de $3,47 \cdot 10^{12}$ kJ

Como estimado no item anterior 5,817 m³ lenha/t café são necessários :

$$45 \cdot 10^6 \text{ sacas} \times 60 \cdot 10^{-3} \text{ t/saca} \times 5,817 \text{ m}^3/\text{t} = 15.705.900 \text{ m}^3 \text{ eucalipto/safra.}$$

3.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR NA CIDADE DE AGUAÍ (SP)

Esta região, localiza-se na Mogiana, produtora de cafés finos e especiais.



Mapa 3.1 - Radiação solar global diária – média anual

O mapa 3.1, mostra a Radiação Solar Global diária anual na unidade MJ/m².dia. A região escolhida para esta monografia, segundo esse mapa, tem uma Radiação Solar Global Diária Média Anual de 16 MJ/m².dia.

Os cálculos serão feitos para os meses de colheita, com ênfase no mês de menor radiação solar que é o mês de Junho, com 13,62 MJ/m².dia no plano horizontal. A inclinação do coletor para melhor utilização dessa energia foi determinada pela $\Phi + 15^\circ$. Portanto, nossa $\beta = 37^\circ$.

No mês de Junho, a radiação solar considerada nessa inclinação, passa a ser 22,54 MJ/m².dia devido à inclinação.

O Mapa 3.2 mostra o local escolhido para o projeto:



A Tabela 3.2 apresenta as coordenadas geográficas mais próximas do local do projeto:

Tabela 3.2 – Coordenadas Geográficas próximas ao local escolhido

Coordenada Geográfica

Latitude

Longitude

22

Sul

46

Oeste

Notas:

☒ graus decimais (00.00°)

☐ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar

Limpar

Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste.
Em caso de dúvida entre em contato conosco.

Localidades próximas

Latitude: 22° S

Longitude: 46° O

#	Estação	Município	UF	País	Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]													
								Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agô	Set	Out	Nov	Dez	Média	Desl
<input checked="" type="checkbox"/>	Duro Fino	Duro Fino	MG	BRA	22.2° S	45.36888° O	44.1	5.31	5.03	5.14	4.64	4.33	3.79	4.18	4.61	4.78	5.36	5.61	6.08	4.91	5.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Machado	Machado	MG	BRA	21.6° S	45.91972° O	45.2	5.17	5.14	4.96	4.28	3.89	3.42	3.82	4.44	4.36	4.87	5.03	5.15	4.84	5.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Popo de Caldas	Popo de Caldas	MG	BRA	21.7° S	45.56138° O	66.9	5.31	4.94	4.94	4.58	4.02	3.54	3.94	4.72	4.89	5.19	5.85	5.50	4.74	5.1

Com base nas coordenadas da propriedade, mostrado no Mapa 3.2, temos: Latitude 22°00'28" e Longitude 46°52'29". A localidade mais próxima, conforme tabela 3.2, dista 44,1 km, sendo a cidade de Ouro Fino, MG; com Latitude 22°2' e Longitude 46°36'. Por isso, nosso estudo será desenvolvido usando-se os dados desse local, mostrado no gráfico 3.1.

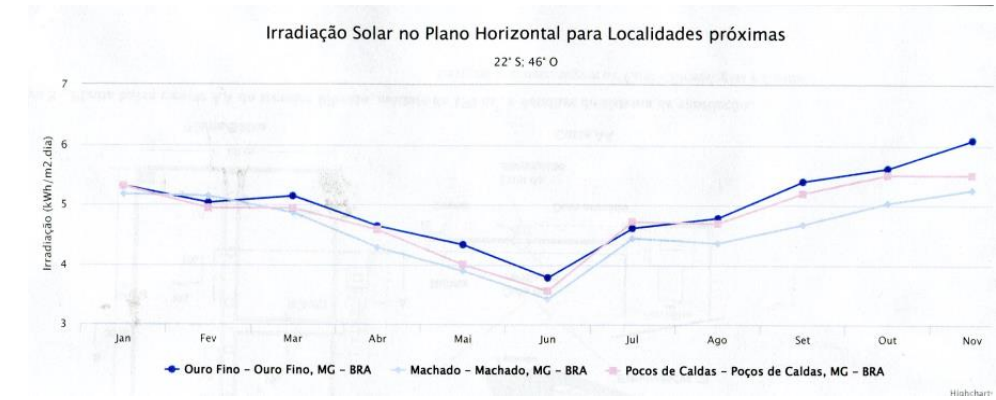
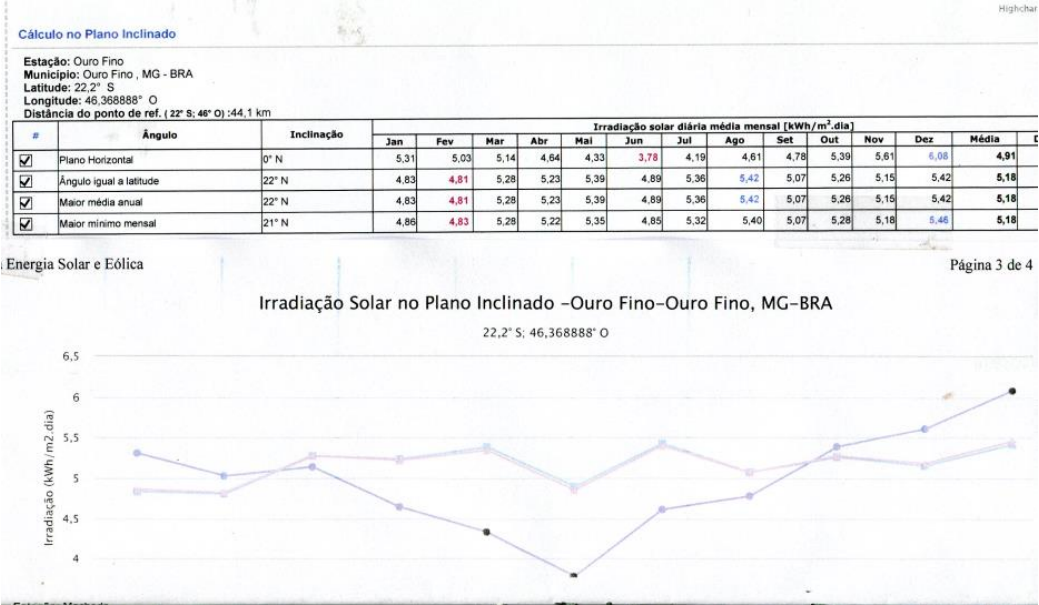


Gráfico 3.1 - Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

A tabela 3.3, mostra os dados de irradiação solar para Ouro Fino

Tabela 3.3 - Tabela Cresesb do Local mais próximo ao local escolhido, com gráfico comparativo no plano horizontal e igual à latitude $\beta = 22^\circ$ da Irradiação Solar



A Tabela 3.4 mostra a radiação solar \bar{H}_0 extraterrestre

Tabela 3.4 - Interpolação para cálculo de \bar{H}_0 (MJ/m².dia) usando-se a tabela 2.2

Φ	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
-20	41,4	39,6	36,0	31,0	26,3	23,9	24,9	28,8	33,9	38,2	40,7	41,7
-22	41,6	39,6	35,6	30,2	25,3	22,8	23,8	27,9	33,3	38,0	40,9	42,0
-25	42,1	39,6	35,0	29,0	23,8	21,3	22,3	26,7	32,5	37,8	41,3	42,6

A Tabela 3.5 mostra os valores dos parâmetros de insolação utilizados

Tabela 3.5 – Cálculo do ω , ω_s^* , H_d/H , R_b no plano horizontal $\beta = 0^\circ$; usando –se as equações (2.1); (2.2); (2.3); (2.4) e o $K_t = \bar{H}/\bar{H}_0$

Mês	Dia médio	δ	ω_s	ω_s^*	\bar{H} (MJ/m ² .dia) *	\bar{H}_0 (MJ/m ² .dia)	\bar{K}_t	\bar{H}_d/\bar{H}	\bar{R}_b
Jan	17	-20,9	98,9	98,9	19,1	41,6	0,458	0,485	1,00
Fev	16	-13	95,4	95,4	18,13	39,6	0,458	0,472	1,00
Mar	16	-2,4	91,0	91,0	18,52	35,6	0,520	0,410	1,00
Abr	15	9,4	86,2	86,2	16,72	30,2	0,554	0,373	1,00
Mai	15	18,8	82,1	82,1	15,6	25,3	0,617	0,326	1,00
Jun	11	23,1	80,1	80,1	13,62	22,8	0,596	0,331	1,00
Jul	17	21,2	81,0	81,0	15,1	23,8	0,633	0,315	1,00
Ago	16	13,5	84,4	84,4	16,61	27,9	0,594	0,344	1,00
Set	15	2,2	89,1	89,1	17,23	33,3	0,517	0,406	1,00
Out	15	-9,6	93,9	93,9	19,42	38,0	0,511	0,426	1,00
Nov	14	-18,9	98,0	98,0	20,22	40,9	0,494	0,452	1,00
Dez	10	-23	99,9	99,9	21,91	42,0	0,521	0,438	1,00

- O \bar{H} de todos os meses, foi obtido da estação de Ouro Fino; no Atlas Solarimétrico.

A inclinação β dada ao coletor é determinada pela utilização particular em estudo. Neste caso, a colheita do café ocorre de Maio a Agosto, razão pela qual adotou-se uma inclinação β para a superfície absorvedora de Latitude + 15° ($\Phi + 15^\circ$) com o objetivo de otimizar a coleta solar nesse período, conforme mostrado na Tabela 3.6

Tabela 3.6 – Cálculo do ω , ω_s , K_t , H_d/H , R_b e \bar{H}_t no plano Inclinado $\beta = 37^\circ$, usando –se as equações (2.1); (2.2); (2.3); (2.4) e o $K_t = \bar{H}/\bar{H}_0$. A equação (2.5) foi usada para calcular o \bar{H}_t .

Mês	Dia médio	δ	ω_s	ω_s^*	\bar{H} (MJ/m ² .dia)	\bar{H}_0 (MJ/m ² .dia)	\bar{K}_t	\bar{H}_d/\bar{H}	\bar{R}_b	\bar{H}_t (MJ/m ² .dia)
Jan	17	-	98,9	84,1	19,1	41,6	0,458	0,485	0,701	22,14
		20,9								
Fev	16	-13	95,4	86,5	18,13	39,6	0,458	0,472	0,819	22
Mar	16	-2,4	91,0	89,4	18,52	35,6	0,520	0,410	0,997	23,75
Abr	15	9,4	86,2	86,2	16,72	30,2	0,554	0,373	1,236	23,68
Mai	15	18,8	82,1	82,1	15,6	25,3	0,617	0,326	1,472	24,48
Jun	11	23,1	80,1	80,1	13,62	22,8	0,596	0,331	1,603	22,54
Jul	17	21,2	81,0	81,0	15,1	23,8	0,633	0,315	1,543	24,45
Ago	16	13,5	84,4	84,4	16,61	27,9	0,594	0,344	1,332	24,52
Set	15	2,2	89,1	89,1	17,23	33,3	0,517	0,406	1,085	22,96
Out	15	-9,6	93,9	87,4	19,42	38,0	0,511	0,426	0,873	23,65
Nov	14	-	98,0	84,7	20,22	40,9	0,494	0,452	0,730	23,31
		18,9								
Dez	10	-23	99,9	83,5	21,91	42,0	0,521	0,438	0,672	24,33
	MÉDIA				17,68					23,48
	Média dos meses de colheita				15,23					24

Com isso, nossa média anual no plano inclinado, com $\beta = 37^\circ$, ficou em 23,48 MJ/m².dia.

A média dos meses de colheita no plano horizontal, ficou em 15,23 MJ/m².dia. A média dos meses que usaremos para a secagem dos grãos, na época da colheita, com $\beta = 37^\circ$ ficou em 24 MJ/m².dia concluindo que a inclinação dos coletores amplia a radiação coletada em 57,6%, conforme mostrado nos gráficos 3.2 e 3.3.

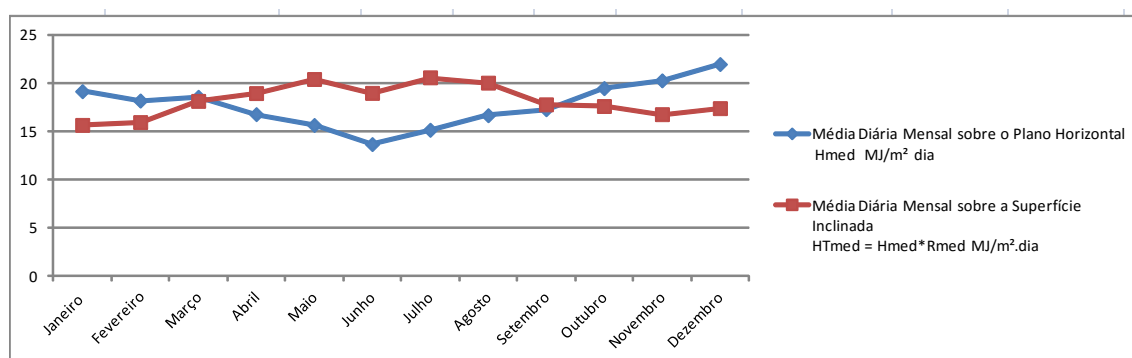


Gráfico 3.2 – Comparação do plano horizontal $\beta = 0^\circ$ ao inclinado $\beta = 37^\circ$

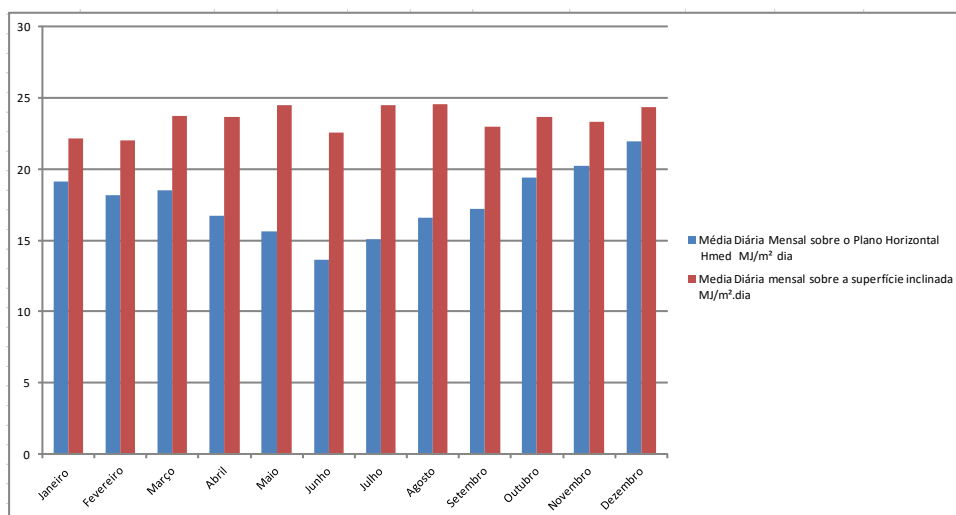


Gráfico 3.3 - Comparação do plano horizontal $\beta = 0^\circ$ ao inclinado $\beta = 37^\circ$

Nos meses de colheita, que são os que nos interessam para esse trabalho, na inclinação $\beta = 37^\circ$ houve aumento expressivo de captação da radiação solar: Maio 56,9%; Junho 65,4% ; Julho 61,9% e Agosto 47,62%. Nos outros meses, também houve aumento considerável.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR

A Figura 3.1 mostra todo o esquema do funcionamento do sistema proposto:

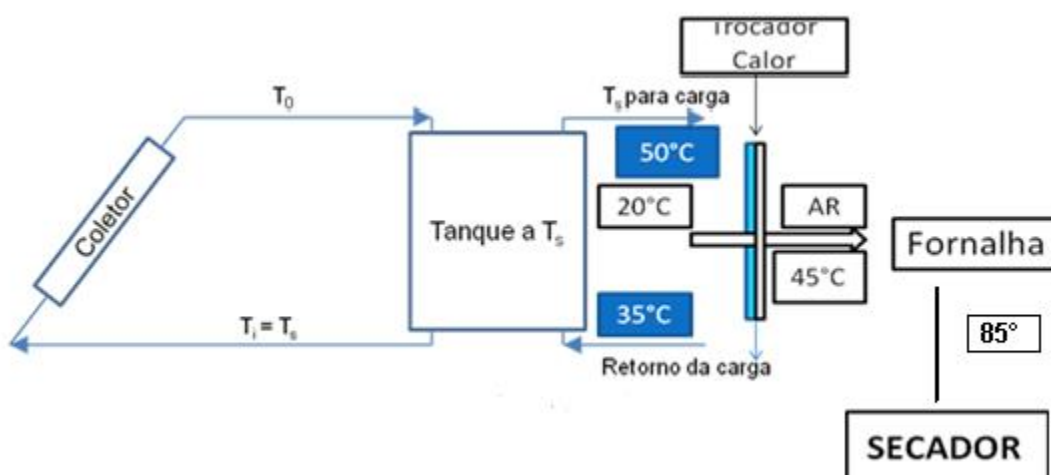


Figura 3.1 – Esquema do sistema do coletor com tanque de armazenamento e fluxo/contrafluxo de ar

Como proposto, uma parte da carga térmica de uma unidade produtora terá sua secagem feita com o uso de energia solar.

Uma fazenda típica de produção de café desta região produz 500 sacas/ano.

Isto significa que serão secas no decorrer de quatro meses de produção 125 sacas/ mês, ou (125 x 60 kg) 7500 kg de café/mês. Isto corresponde a 50% do material descarregado pelo secador ou seja 15000 kg/ mês serão descarregados pelo secador. Como cada batelada de secagem descarrega 1875 kg teremos de processar 8 bateladas/mês.

Do balanço térmico do secador temos que a necessidade básica de energia é de $1,27 \cdot 10^6$ kJ/batelada ou seja $10,16 \cdot 10^6$ kJ/ mês.

A temperatura do ar na massa sendo seca é de 40°C, em que pese na entrada do secador ser de 85°C.

Como foi mostrada, a eficiência do secador é muito baixa e estudos deste equipamento se tornarão mandatórios caso as condições atuais permitidas para a queima de lenha se modifiquem.

Será adotada a premissa de suprir parte da necessidade básica de energia da secagem por energia solar através de ar quente conforme esquema da Figura 3.1 aonde ar é fornecido a 45°C e na fôrnalha do secador ele será aquecido até 85°C. Supondo uma proporcionalidade de carga térmica com a temperatura de aquecimento, estaríamos atendendo a $[(45 - 20)/(85-20)] = 0,38$ ou 38% da carga térmica ou seja $10,16 \cdot 10^6 \times 0,38 = 3,86 \cdot 10^6$ kJ/mês serão atendidos por energia solar. Supõe-se também que a eficiência de secagem pode ser melhorada por recirculação do ar.

O trocador de calor de aquecimento receberá água a 50°C retornando para o tanque a 35°C, o ar de aquecimento entrará a 20°C e sairá a 45°C. Supõe-se um trocador de calor aletado em duplo estágio em contra corrente.

O sistema de armazenamento de água quente para operação do trocador de calor operará a 50°C . Supondo o uso do coletor do arranjo de coletores como sendo o Heliotek MC 10_Evolution que conforme os dados do INMETRO (ANEXO 1) possui os seguintes dados: $F_R(\tau\alpha) = 0,71$; $F_R U_L = 5,92$ W/m² °C temos que para $T_f = 50^\circ\text{C}$, $T_a = 20^\circ\text{C}$ e $G_T = 600$ W/m² o rendimento térmico η será de $0,71 - (5,92 \times 0,05) = 0,414$.

$$Q_U = \eta \times A_c \times \bar{H}_t \quad (3.1)$$

Ou

$$A_c = (Q_U / \eta \bar{H}_t) = (3,86 \cdot 10^6 / 0,414 \bar{H}_t) = 9,32 \cdot 10^6 / \bar{H}_t \quad (3.2)$$

A Tabela 3.7 mostra a área de coletores a serem utilizados:

$A_c = (Q_U / \eta \bar{H}_t) = (0,12 \cdot 10^6 / 0,414 \bar{H}_t) = 0,29 \cdot 10^6 / \bar{H}_t$ em junho tem-se 22,54 MJ/dia m² que corresponde a uma área de 13,79 m².

Tabela 3.7 – \bar{H}_t diário e mensal dos meses de colheita e área de coletores

<i>Mês</i>	<i>\bar{H}_t (KJ/m² dia)</i>	<i>\bar{H}_t (kJ/m²) mensal</i>	<i>A_c (m²)</i>
Maio	24,48 10 ³	758,88 10 ³	12,29
Junho	22,54 10 ³	676,20 10 ³	13,79
Julho	24,45 10 ³	757,95 10 ³	12,30
Agosto	24,53 10 ³	760,43 10 ³	12,26

Com base nestas informações teríamos uma área escolhida de **$A_c = 14\text{m}^2$** .

Cálculo do tamanho do reservatório conforme o consumo térmico

Do balanço térmico do secador temos que a necessidade básica de energia é de 1,27 10⁶ kJ/batelada, 38% 0,4826 10⁶ kJ/batelada, isto será atendido em dois dias necessários 0,2413 10⁶ kJ/dia a ser fornecido para o secador. Porem pode-se usar 4 dias para armazenar esta energia ou seja deve-se coletar 0,1207 10⁶ kJ/dia

Deseja-se que o reservatório se mantenha a 50°C por exigência do trocador de calor que retornará a água a 35°C

Pode-se estimar que durante 18 horas de operação sem insolação serão retirados 18/48 da carga térmica de uma batelada ou 0,2413 10⁶ x 18/48 = 0,0905 10⁶ kJ em 18 horas, o volante térmico a 55°C no mínimo ao ser misturado com o retorno a 35°C deverá dar uma mistura de 50°C até o início da insolação.

$$0,0905 \cdot 10^6 = M_m \cdot 4,18 (55-50) \text{ portanto } M_m = 4330 \text{ kg ou } 4,3 \text{ m}^3 \text{ ou } 5 \text{ m}^3$$

Durante as horas de insolação será fornecido ao trocador de calor uma energia menor do que aquela que esta sendo transferida pelos coletores solares ao reservatório

A Tabela 3.8 mostra a variação da energia acumulada no reservatório térmico:

Tabela 3.8 – Cálculo da energia acumulada e gasta por dia

<i>Dia</i>	<i>Entrada kJ 10⁶</i>	<i>Saida kJ 10⁶</i>	<i>Acumulado</i>	<i>T</i>
1	0,12	0	0,12	55,74
2	0,12	0	0,24	61,44
3	0,12	0,24	0,12	55,7
4	0,12	0,24	0	50,0

$$T = T_{\text{ant}} + (\text{entrada-saida}) / (5000 \times 4,18) = T_{\text{ant}} + (\text{entrada-saida}) / (20900)$$

T_{ant} inicial = 50°C

Dimensionando o trocador de calor

Trata-se de um aparelho de uso específico, cujos dados de processo ideais foram fornecidas pelo orientador do trabalho.

Utiliza-se um trocador de calor para transferir a energia do fluído ao ar que será usado pelo secador para secagem do material.

$$0,4826 \cdot 10^6 \text{ kJ/batelada} / 36 \text{ h/batelada} = 13,4 \cdot 10^3 \text{ kJ/h} = 3,72 \text{ kW}$$

Potência 5KW

Temperatura de entrada do ar 25°C

Temperatura de Saida do Ar 45°C

Temperatura de entrada da água 50°C

Temperatura de retorno da água 35°C (presume-se trocador de calor em dois estágios)

Vazão de água 213,6 kg/h ou 213 L/h

Vazão de Ar 667,9 kg/h ou 690 m³/h a 20°C

3.5 ARRANJO DO NÚMERO DE FILEIRAS

Conforme visto no item 2.7 Análise de Sombreamento, será feita a análise de sombreamento dos próprios coletores, pois o terreno a ser colocado o conjunto, é descampado, sem árvores ou construções que possam sombrear os coletores.

Assim, serão usadas diversas equações definidas naquele item para o dia 21/06, solstício de inverno no Hemisfério Sul ao meio dia:

Tem-se os seguintes indicadores:

$$\delta = 23,1$$

$$L = 46,52^\circ \text{ W}$$

$$L_o = 45^\circ \text{ W}$$

$$\omega = (HS - 12) * 15 \quad (2.7)$$

$$HS = HL + \text{Corhora} \quad (2.8)$$

$$\text{Mês } 6 = \text{cor} = (\text{int } (6/2) - 2)$$

$$\text{Cor} = 3 - 2 = 1$$

$$n = 21 + (6 - 1) \times 30 + 1 \quad (2.11) \text{ ou pela tabela 2.1}$$

$$n = 172$$

$$B = ((360/364) \times (172 - 81)) \quad (2.12)$$

$$B = 90$$

$$E = 9,87 \times \sin(2 \times 90) - 7,53 \times \cos(90) - 1,5 \times \sin(90) \quad (2.10)$$

$$E = -1,5$$

$$\text{Corhora} = ([4 \times (L_o - L)] + E) / 60 \quad (2.9)$$

$$\text{Corhora} = ([4 \times (45 - 46,5)] + (-1,5)) / 60$$

$$\text{Corhora} = -0,125$$

$$HS = 12 + (-0,125) \quad (2.8)$$

$$HS + 11,875 \quad (11\text{h } 52\text{ min } 30\text{s})$$

$$\omega = (HS - 12) * 15 \quad (2.7)$$

$$\omega = (11,875 - 12) * 15$$

$$\omega = -1,875^\circ$$

$$\cos\theta_z = \sin(\delta) * \sin(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\omega) \quad (2.6)$$

$$\cos\theta_z = \sin(23,1) * \sin(-22) + \cos(23,1) * \cos(-22) * \cos(-1,875)$$

$$\cos\theta_z = 0,705$$

$$\theta_z = 45,170^\circ$$

$$D = \tan(\theta_z) \times \sin(\beta) \times H \quad (2.13)$$

$$D = \tan(45,170) \times \sin(37) \times 1$$

$$D = 0,605 \text{ m}$$

$$D_1 = \cos(\beta) \times H \quad (2.15)$$

$$D_1 = \cos(37) \times 1$$

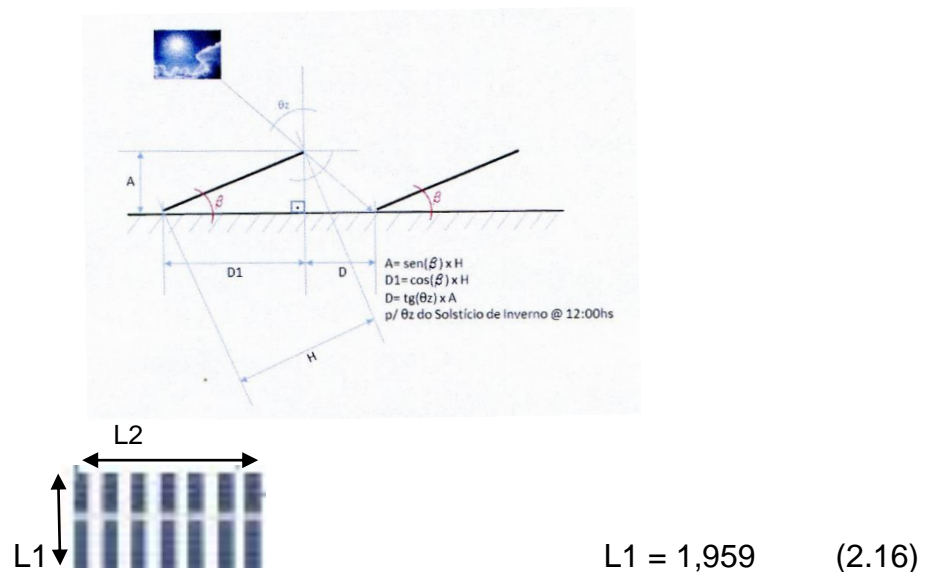
$$D_1 = 0,799 \text{ m}$$

$$A_{rs} = (D_1 \times L \times N_{cf} \times N_f) + [(D \times L \times N_{cf}) \times (N_f - 1)] \quad (2.14)$$

$$A_{rs} = (0,799 \times 1 \times 7 \times 2) + (0,605 \times 1 \times 7 \times (2-1))$$

$$A_{rs} = 15,421 \text{ m}^2$$

A Figura 3.2 mostra o arranjo de coletores



$$L1 = 1,959 \quad (2.16)$$

Figura 3.2 – Arranjo de coletores

$$L2 = 7 \quad (2.17)$$

4 MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA

4.1 PELO FLUXO DE CAIXA

4.1.1 Valor Presente Líquido – VPL ($VPL = Valor - Custo$)

O VPL do fluxo de caixa de um projeto ou ativo, permite que se obtenha a medida exata do lucro líquido ou prejuízo de um investimento a valores presentes. Temos o seu cálculo pela seguinte equação:

$$\text{Valor} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (5.1)$$

$$\text{VPL} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - II_0 \quad (5.2)$$

onde:

r - é a taxa de desconto

FC_t - Fluxos de caixa t de 1 a n

II_0 - Investimento inicial em $t = 0$

Considera-se que:

- O valor de um ativo é o valor presente do diversos fluxos de caixa (FC) futuro de um ativo;
- O custo de um ativo é o investimento necessário para a implantação do ativo;
- O custo é o fluxo de caixa do tempo zero (0) considerando o padrão em que o investimento é realizado em $t = 0$.
- Assim, se um projeto tem valor maior que o custo ($\text{VPL} > 0$), significa que será obtido lucro e pode ser considerado boa alternativa para investimento.

Porém, se o valor do projeto for menor que seu custo ($\text{VPL} < 0$), indica que haverá prejuízo, o que representa inviabilidade do projeto nas condições consideradas de fluxos de caixa.

Nesse trabalho, foi considerada que a lavoura já está em produção. Normalmente, da implantação à colheita, são três anos de espera.

A maioria dos produtores rurais que trabalha com o café, possui o equipamento denominado “secador”, que também inclui a fôrnalha. O fabricante estima uma vida útil de vinte anos do secador mais fôrnalha e seu custo é de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais).

Tendo como finalidade a implantação do sistema pelo menos em parte, com energia solar, será analisado o custo dos equipamentos necessários à integração do uso dessa energia renovável. São eles:

- Coletores solares;
- Caixa d'água térmica;

➤ Trocador de calor.

O Fluxo de caixa é feito sobre a economia do custo energético do combustível usado atualmente, que é a lenha .

No item 3.1.4 Estimativa de carga térmica para a propriedade, vimos que nossa proposta de substituição de 38% do total por energia solar, traria uma economia de 66,3 m³ de lenha/30 ton de café.

Atualmente, o preço de 1 m³ de lenha na região, colocada no local (frete), fica em torno de R\$ 70,00.

Então, a economia efetiva em dinheiro, seria de R\$70/m³ x 66,3 m³ = 4.641,70 que será o fluxo de caixa a ser considerado.

Para completar, será feito o Payback simples do investimento, que é o tempo em anos necessário para recuperação do investimento e assim se torne positivo.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo caixa anual}}$$

Será também calculado o Payback descontado, onde é incluído o valor do dinheiro no tempo. É o ajuste dos fluxos de caixa por uma taxa de desconto.

4.1.2 TIR – Taxa Interna de Retorno

É a taxa máxima de custo de capital que um projeto comporta.

É a taxa de desconto para que os fluxos de caixa igualem seu VPL a 0 (VPL=0).

Se a TIR for maior que a taxa de custo do capital empregado, o investimento é considerado positivo. Entretanto, se a TIR for menor do que a taxa de custo do capital, significa que o projeto não terá retorno.

TIR é calculada pela equação 5.3, onde VPL = 0; assim $i = \text{TIR}$

Para projetos ou ativos onde há mais de uma inversão de sinal dos fluxos de caixa futuros projetados, pode existir mais de um valor positivo para TIR. Nesse caso, não se usa a TIR para análise de viabilidade econômica, mas apenas o VPL.

Nesse trabalho, a TIR também será calculada, pois os fluxos de caixa têm valor constante.

$$VPL_{FC} = 0$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1 + TIR)^t} - \pi_0 = 0 \quad (5.3)$$

Tabela 4.1 – Discriminação e valores do “kit” solar

<i>Equipamentos</i>	<i>Valor unitário</i>	<i>Valor total</i>
14 coletores Heliotek MC 10 Evolution 1 m ²	479,00	6.706,00
Reservatório 5 m ³ marca Kisol	15.500,00	15.500,00
Trocador de Calor 5W	2.500,00	2.500,00
TOTAL		24.706,00

Os equipamentos de energia solar – coletores e caixa térmica, tem uso estimado de 20 anos; mas considerando que na prática já há coletores em uso há bem mais tempo, podemos afirmar que se os coletores e a caixa térmica forem instalados em local adequado, protegido de danos físicos para evitar a quebra dos vidros ou depredação por choques, podem ter seu uso ampliado.

Para o cálculo de viabilidade econômica do projeto, considera-se o investimento como sendo o valor dos coletores, caixa d’água térmica e trocador de calor. Como já foi citado, esse seria o “kit” solar a ser adaptado em secador já existente.

A Tabela 4.2 mostra o cálculo dos fluxos de caixa, VPL, TIR, Payback simples e Payback descontado do projeto em estudo:

Tabela 4.2 – Cálculo dos fluxos de caixa , VPL, TIR, Payback simples e descontado do projeto solar

ANOS	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa final	-24.706,00	4.641,70	4.641,70	4.641,70	4.641,70	4.641,70
Fluxo caixa acumulado	-24.706,00	-20.064,30	-15.422,60	-10.780,90	-6.139,20	- 1.497,50
Fluxo caixa descontado	-24.706,00	4.144,38	3.700,33	3.303,87	2.949,88	2.633,83
Fluxo caixa desc/acum	-24.706,00	-20.561,62	-16.861,29	-13.557,42	-10.607,54	-7.973,71

Continua ...

Tabela 4.2 – Cálculo dos fluxos de caixa , VPL, TIR, Payback simples e descontado do projeto solar

ANOS	6	7	8	9	10
Fluxo de caixa final	4.641,70	4.641,70	4.641,70	4.641,70	4.641,70
Fluxo caixa acumulado	3.144,20	7.785,90	12.427,60	17.069,30	21.711,00
Fluxo caixa descontado	2.351,63	2.099,67	1.874,70	1.673,84	1.494,50
Fluxo caixa desc/acum	-5.622,08	-3.522,41	-1.647,71	26,13	1.520,63
VPL		1.520,64		TD 12%	Ao ano
TIR		13,49 %			
Payback simples		Ano: 5	Mês: 3	Dia: 26	
Payback descontado		Ano: 8	Mês: 12	Dia:23	

Conclusão.

O valor do VPL de R\$ 1.520,64, significa que esse projeto, ao final de 10 anos, considerando uma taxa de juros de 12 % para uma aplicação financeira traz um retorno superior à aplicação. Assim, o projeto é viável do ponto de vista financeiro.

A TIR de 13,49% também positiva, é uma confirmação de que o projeto tem viabilidade, pois terá como retorno uma taxa bem acima da aplicação financeira considerada (de 12% a.a.)

Pelo payback simples, teremos que o projeto será pago em 5 anos, 3 meses e 26 dias.

Considerando-se uma taxa de desconto de 12%, calculamos o payback descontado e concluímos que o projeto será pago em 8 anos e 12 meses e 23 dias.

Desta forma, concluímos que seria muito vantajosa a substituição da lenha por energia solar, tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Ainda observamos que, tanques térmicos de grande capacidade são feitos especificamente para cada projeto. Se houver um dimensionamento que permita uma escala industrial de fabricação dos componentes, certamente ocorrerá uma redução no custo desses equipamentos.

5 ANÁLISE DA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE) NA CULTURA BRASILEIRA DE CAFÉ PELA ADOÇÃO DE TÉCNICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA ALTERNATIVA

Segundo o IBGE, o *Coffea arabica*, considerado de qualidade superior, é cultivado em 200.859 estabelecimentos agropecuários, que correspondem a 70% dos estabelecimentos que produzem café no Brasil.

O Estado de Minas Gerais é responsável por 65% da produção nacional e 52,2% dos estabelecimentos se localizam nesse Estado.

O *Coffea canephora* é cultivado em 85.984 estabelecimentos, principalmente no Estado do Espírito Santo (41,1%), sendo responsável por 59,7% da produção total dessa variedade. Rondônia, com 29.638 estabelecimentos é considerado outro grande produtor dessa variedade.

De acordo com o INCAPER, são onze Estados e 1.850 municípios brasileiros que cultivam café, sendo a agricultura familiar responsável por 25% do café brasileiro. Há variação nas diferentes regiões do País: no Sul, chega a 43%, no Centro-Oeste a 63%, no Norte a 94%, no Nordeste e Sudeste a 23%. Porém, esses agricultores, que têm no café sua principal fonte de renda, vêm perdendo espaço por falta de apoio, enfrentando grandes obstáculos, como a falta de produção em escala (o que dificulta seu acesso ao mercado, principalmente no de cafés finos), a ação dos intermediários e a ausência de uma política agrícola que facilite o acesso às novas tecnologias, à assistência técnica pública e gratuita e aos financiamentos para infra estrutura e custeio da safra. Pelas pequenas dimensões das propriedades, poderiam estar produzindo cafés finos, de elevada qualidade – um dos desafios colocados para a cafeicultura nacional.

Diante desse quadro, nós profissionais cumprimos a mais nobre função, sendo o elo entre os conhecimentos adquiridos nas Universidades e a solução prática e atual no uso de tecnologias modernas, como efetivamente é o uso das Energias Renováveis.

Para uma integração dessa cadeia produtiva, há que se considerar o que o Mundo hoje discute e aprova os chamados MDL (mecanismos de desenvolvimento limpo).

Esses MDL foram criados pelo Protocolo de Quioto para auxiliar a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) ou de sequestro de carbono pelos países do Anexo I deste protocolo, que são os países que tem metas em relação ao Protocolo de Quioto.

São divididos em dois sub-grupos:

(1) aqueles países que necessitam diminuir suas emissões e portanto podem tornar-se compradores de créditos provenientes do MDL, como a Alemanha, Japão, Países Baixos; e,

(2) os países que estão em transição econômica e por isso podem ser anfitriões desses projetos. São eles Ucrânia, Rússia, Romênia, Brasil, etc.

O MDL visa o alcance do desenvolvimento sustentável e presta assistência às duas partes:

a) Partes *não* Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC ou em inglês – UNFCCC) para a viabilização através da implementação de projetos que contribuam para o objetivo final da Convenção, e,

b) Partes Anexo I, pela implementação do projeto de tecnologias mais limpas atingindo o objetivo final da Convenção que é a redução de emissões de GEE.

Esses projetos podem ser baseados em fontes renováveis e alternativas, eficiência e conservação de energia ou reflorestamento, desde que sigam as regras claras e rígidas para sua aprovação como MDL.

No Brasil, a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, desde 1999 atua como AND (Autoridade Nacional Designada) e o primeiro projeto mundial aprovado pela ONU foi o aterro sanitário de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro, com tecnologias precisas de engenharia sanitária e créditos de carbono negociados com os Países Baixos.

Os seguintes setores podem desenvolver projetos MDL, sendo que uma atividade pode estar relacionada a mais de um setor:

1. Geração de energia (renovável e não renovável)
2. Distribuição de energia
3. Demanda de energia (projetos de eficiência e conservação de energia)
4. Indústrias de produção
5. Indústrias químicas
6. Construção

7. Transporte
8. Mineração e produção de minerais
9. Produção de metais
10. Emissões de gases fugitivos de combustíveis
11. Emissões de gases fugitivos na produção e consumo de halocarbonos e hexafluorido de enxofre
12. Uso de solventes
13. Gestão e tratamento de resíduos
14. Reflorestamento e florestamento
15. Agricultura

Considerando-se que Créditos de Carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando há redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE), convencionou-se que uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) equivalente, corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional. É um valor monetário atribuído à poluição.

Os países que não aderiram ao Protocolo de Quioto (como os EUA), podem comercializar as reduções de emissões nos mercados voluntários, como na Bolsa do Clima de Chicago (Chicago Climate Exchange).

Então, diante dos fatos, a implementação de coletores solares para uso nos secadores de café, atendem a diversos setores: Agricultura, Reflorestamento e Florestamento, Emissões de gases combustíveis, demanda e distribuição de energia.

Pelo fato de os pequenos e médios produtores, como já foi citado, não terem capacidade de investimento, considerando que o Brasil não possui políticas públicas nem subsidia sua agricultura e apesar de todas as dificuldades, tem sido esta atividade a responsável pelo nosso saldo positivo na balança comercial, e com produção crescente em praticamente todas as culturas, o mínimo que se desejaria, seriam incentivos reais (redução de impostos do material a ser usado nos equipamentos de Energias Renováveis por exemplo). Estima-se para este ano (2016) que a safra de café seja em torno de 49 a 51 milhões de sacas). O Brasil tem perdido suas características de energia limpa de produção de energia pelo uso de termelétricas, com consequente aumento da emissão de GEE. O uso de energia solar para secagem da produção nacional de café teria três enormes impactos

positivos: a) na não emissão desses gases (GEE); b) no reflorestamento; c) na absorção dos GEE pelas árvores que não foram cortadas.

Não sendo mais necessário o corte obrigatório das árvores, elas se tornariam mais um ativo da propriedade, podendo ser vendidas até mesmo como lenha para outra finalidade que não a secagem de café, beneficiando economicamente o produtor ou deixar as árvores engrossarem e serem vendidas para serraria, num custo/benefício muito melhor.

Estudos desenvolvidos nos EUA, demonstraram que o método mais eficiente de fixação do carbono, é na própria madeira adulta. Quando uma árvore fica adulta e aí é cortada para uso nobre, como construção de móveis, de casas, moirões para cerca, por exemplo, o carbono fica nela própria fixado por tempo indeterminado. Pode-se fazer um tratamento para que pragas não ataquem essa madeira e assim aumente sua durabilidade. É uma forma inteligente de guardar o carbono.

Segundo o engenheiro florestal João Ernesto Feldberg, consultor em plantio de eucalipto, o ciclo da planta é o ponto crucial. Ele pode ser de até sete anos, mas pode-se obter até 400 m³ por hectare em quatro anos, dependendo da fertilidade do solo e adubação aplicada.

A silvicultura do eucalipto comporta cerca de 4.500 pés de eucalipto por alqueire (24.200m²) ou 1.860 pés por hectare. Com o corte em cinco anos, isso corresponde em torno de mil a 1.300 m³ por alqueire ou 537 m³ por hectare. O valor por metro cúbico de eucalipto - em pé, isto é, sem nenhuma despesa de corte e transporte para o produtor - é de até R\$ 42, o que equivale de R\$ 42 mil a R\$ 55 mil por alqueire.

Levando-se em conta que um hectare de floresta de eucalipto absorve por ano, 12 toneladas de gás carbônico.(Revista Meio Ambiente).

Segundo (Lima et al, 2003), foram feitos estudos para quantificar a absorção de carbono de espécies nativas em florestas no Brasil para verificar a viabilidade delas em projetos de reflorestamento para o mercado de carbono.

Conforme a tabela 5.1, chegou-se à conclusão de que o sequestro de carbono das nativas é bem inferior às comerciais, não sendo recomendado plantio de nativas para essa finalidade.

Entretanto, deve-se destacar que florestas nativas produzem uma série de externalidades positivas relacionadas à biodiversidade e serviços ambientais que não são verificadas em florestas plantadas.

Nota-se também, que dependendo dos diversos autores, há grande variação de sequestro de carbono nas mesmas espécies, estimativas para espécies de interesse florestal, como mostra a Tabela 5.1:

Tabela 5.1 - Sequestro de carbono (tC/ha.ano) das nativas (média) e de espécies comerciais

Espécies	Sequestro	Ref.
Nativas (média)	2,59	-
Eucalipto	10	SBS
Eucalipto	45	Paixão(2004)
Pinus	7	SBS
Pinus taeda	24,6	Schumacher(2002)
Araucaria	18,59	Watzlawick(2003)
Seringueira	9,15	Cotta(2006)

Cada tonelada de CO₂ retirada ou evitada na atmosfera, corresponde a um crédito de carbono ou RCE – Redução Certificada de Emissão. Uma tonelada de metano, por exemplo, equivale a 21 créditos de carbono pois seu potencial de aquecimento global é 21 vezes mais poderoso que o CO₂. Em Março de 2010, cada RCE valia 11,74 euros.

O preço mais alto aconteceu em meados de 2008, chegando até 25 euros e o preço mais baixo aconteceu em fevereiro de 2009, ao redor de 6 euros. Em Janeiro de 2016, o preço continuava baixo, ao redor de 6,80 euros por tonelada.

Existem dois mercados de carbono: o mercado que segue as regras de Quioto, chamado de mercado oficial (que vale para as metas) e o mercado voluntário (VCR – Voluntary Carbon Registry). Esse último acontece na Bolsa de Chicago e tem o preço cotado em cerca de US\$ 5,00 por tonelada de carbono. Não conta para as metas de Quioto. Esse mercado pode se desenvolver muito, pois atualmente os EUA se comprometeram com a redução de emissão. Espera-se que todos os estados americanos tenham metas para atingir e isso injetará muito dinheiro nesse mercado que atualmente gira em torno de US\$ 1 bilhão, comparado a US\$ 130 milhões do mercado oficial em 2009.

Para nosso tema, que é o uso de energia solar para substituir eventuais combustíveis fósseis ou lenha, que quando queimada libera carbono na atmosfera e considerando-se 45 milhões de sacas de café limpo descascado, com 60 kg de peso e 12 % de umidade, temos:

2.700.000 de toneladas de café.

Calculando que é preciso ao redor de 5,817 m³ de lenha para secar 01 tonelada de café, temos:

$2.700.000 \times 5,817 = 15.705.900$ m³ de lenha para secagem de uma safra de 45 milhões de sacas

Sabendo que 1 ha de eucalipto produz 530 m³ de lenha, temos que seriam necessários 29.633.77 Vinte e nove mil, seiscentos e trinta e três hectares de eucalipto plantado para atender as necessidades da secagem de café. Este fato mostra que o potencial de redução da emissão de carbono na atmosfera é muito elevado se em parte a secagem do café for atendida por energia solar.

Esse mesmo hectare, que deixa de ser cortado, absorve 12 ton de CO₂, que serão 355.600 toneladas de GEE retiradas do planeta.

Em valores atuais, com o preço de 6,80 euros por tonelada de carbono, teremos em valores monetários, somente pela absorção dos GEE, 2.418.115,92 dois bilhões e quatrocentos e dezoito milhões de euros.

Em pé, esse hectare preserva 71,13 toneladas de carbono. (PAIXÃO et. al. 2010). Se for considerado essa preservação para efeito das não emissões, temos 2,10 milhões de toneladas de GEE.

Em valores atuais, com o preço de 6,80 euros por tonelada de carbono, teremos em valores monetários, 14.333.007,97 (quatorze bilhões, trezentos e trinta e três milhões de euros) pela preservação dos hectares sem cortá-los.

Seguindo o projeto de substituir pelo menos 38% do total de lenha por energia solar, em números temos:

Em hectares : $29.634 \times 0,38 = 11.260$ (onze mil e duzentos e sessenta hectares preservados).

Em absorção de CO₂ = 11.260 x 12 (ton/há) = 135.131 ton

Em preservação de CO₂ = 11.260 x 71,13 (ton/há) = 800.923 ton

6 CONCLUSÃO

As Energias Renováveis são na atualidade fonte de estudos para seu aproveitamento principalmente visando a substituição dos combustíveis fósseis.

É fato que demandam mais pesquisas para aperfeiçoamento, mas o caminho até aqui percorrido não deixa de ser vitorioso e animador.

O projeto técnico desenvolvido, mostra que as tecnologias existentes são suficientes para dimensionar um projeto de secagem de café com precisão.

Apesar do avanço da tecnologia e da redução dos custos dos materiais requeridos pelas energias renováveis, vemos que elas estão se tornando viáveis gradualmente; os custos ainda são altos, bem mais do que os combustíveis fósseis.

O secador usado tem eficiência muito baixa, necessitando talvez estudos mais aprofundados para melhorar esse rendimento.

Acreditamos que o uso em escala e medidas objetivas tomadas por políticas públicas realistas e eficientes, possa acelerar bastante a queda dos custos permitindo a implantação desse projeto.

Acreditando que depende muito não apenas da conscientização, mas da definição de estratégias reais o uso das Energias Renováveis, vemos que nos EUA, pela decisão governamental de seu uso, o custo caiu 70% e a implantação da energia solar cresceu 3000%. (ANEXO 2).

Infelizmente, no Brasil, apesar do País ser pródigo tanto em insolação como em ventos, o que é uma vantagem, tem-se que o uso dessas energias depende da consciência de quem vai desenvolver o projeto. Muitas vezes, nem se pensa em retorno financeiro. Não teria de ser dessa forma.

Sabe-se que o custo dos combustíveis fósseis é imbatível na atualidade. Isso porque não é levado em conta o valor monetário da emissão dos GEE que como já se provou cientificamente, são os responsáveis pelo aquecimento global. Entretanto, com o alerta de cientistas para as graves consequências desse aquecimento, há que se fazer essa substituição, custe o que custar, já que está em questão a sobrevivência da Terra.

Considerando-se o custo “PLANETA”, e direcionando-se os valores já estabelecidos por mercados organizados, far-se-ia uma sinergia, porque o valor

monetário gerado por não emissões, redundariam em maior quantidade de não emissões.

No Brasil, não temos subsídios de nenhum tipo ao agricultor e talvez fosse a hora de usarmos a conexão ambiental/energias renováveis/redução GEE, para sensibilizar não somente nosso governo, mas mercados desenvolvidos, projetos do Banco Mundial, mecanismos “fair trade” para instalarmos um sistema energético econômico e perene em nosso País onde somos privilegiados quanto à radiação solar incidente.

Este estudo tomou como base uma fazenda típica da região Sudeste do Estado de São Paulo que produz 30 t de café (500 sacas beneficiadas) consumindo 174,5 m³ de lenha em seu secador. Mostrou-se que 38% da carga térmica de secagem pode ser atendida por um sistema térmico composto por 14 coletores planos, com 1m² de área de captação, acoplados a um reservatório térmico de 5 m³ que armazenará água quente a 50°C. Compatível com os coletores planos em fabricação no Brasil. Esta água quente pré-aquecerá o ar de secagem via um trocador de calor de tubos aletados. O sistema possui um custo de R\$ 24.706,00 e o estudo econômico revelou uma TIR de 13,49%, positiva e também VPL > 0, significando a viabilidade do projeto.

Números dos GEE

Seguindo o projeto de substituir pelo menos 38% do total de lenha por energia solar, em números temos:

Em hectares : $29.634 \times 0,38 = 11.260$ (onze mil e duzentos e sessenta hectares preservados).

Em absorção de CO₂ = 11.260×12 (ton/ha) = 135.131 ton

Em preservação de CO₂ = $11.260 \times 71,13$ (ton/ha) = 800.923 ton

Esses valores são passíveis de serem atingidos imediatamente. Como o tempo urge, recomenda-se o início imediato de tal substituição.

BIBLIOGRAFIA

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do café. Disponível em:
<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=38>
Acesso em 12 Jan. 2016

CHIGUERU, Tiba. **Atlas Solarimétrico do Brasil**, UFRE (2000).

DUFFIE, John A. & BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes**. 3 rd ed, 2006.

FELDBERG, João Ernesto. Disponível em:
<http://www.guiasaojoao.com.br/guiasaojoao/.../jornal/.../indicemunicipio.asp?...>>.
Acesso em: 16 Jan 2016.

GRANFINALE. **Silo secador**. Disponível em: <<http://www.granfinale.com.br/silo-secador/silo-secador-granfinale.html>>. Acesso em: 19 Nov 2015.

GRIPP, Ruy. **Café: relação peso/volume/número de frutos**. Disponível em:
<<http://www.ruygripp.com.br/café-relacao-pesovolumenumero-de-frutos>>. Acesso em: 21 Nov 2015.

HISTÓRIA do Café. Disponível em: <<http://www.clubecafe.net.br/historia-cafe>>. Acesso em: 21 Nov 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:
<http://www.ecodebate.com.br/2009/10/01/censo-agropecuário-2006-ibge-revela-retrato-do-brasil-agrário/>>. Acesso em: 24 Jan 2016.

INCAPER – Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/pedeag/setores03_02.htm>. Acesso em: 24 Jan 2016.

INCROPERA, Frank P. & DeWITT, David P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 4 th ed., 1996.

O ESTADO DE SÃO PAULO. Ed de 12 de Abril de 2016.

LIMA, Luiza M. T.; REGINATO, Gustavo A.; BARTHOLOMEU, Daniela B. **Levantamento de estimativas de absorção de carbono por florestas nativas e comerciais no Brasil**. Disponível em:
<www.cepea.esalq.usp.br/pdf/DanielaBacchil03.pdf>. Acesso em 24 Jan 2016.

MALAVOLTA, Eurípedes. **História do Café no Brasil**. 2000.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível em:
<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em 26 Jan 2016.

PINHALENSE MÁQUINAS AGRÍCOLAS. Catálogo de Instruções de Montagens e de Funcionamento, 2009.

PAIXÃO, Fausto Araújo; Soares; CARLOS Pedro Boechat; JACOVINE, Laércio Antônio Gonçalves; SILVA, Márcio Lopes da; Leite; Helio Garcia; SILVA, Gilson Fernandes da. **Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100>. Acesso em: 14 Fev 2016.

REVISTA MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.revistameioambiente.com.br/2008/03/28/creditos-de-carbono/>>. Acesso em: 22 Jan 2016.

RIBEIRO, Rodrigo M.; CORREA, Paulo C.; AFONSO JÚNIOR, Paulo C.; COUTO, Camila N. B. **Secagem de grãos de café utilizando Energia Solar em estufa com ventilação forçada**.

SOUSA e SILVA, Juarez; DONZELES, Sérgio Maurício Lopes; LACERDA FILHO, Adílio F. **Construção e Manejo de Terreiros**. Disponível em: <<http://www.ufv.br/Dea/poscolheita/.../capitulo2.pdf>>. Acesso em: 20 Jan 2016.

SOUSA e SILVA, Juarez de; RUFATO, Solenir. **Determinação da umidade do café**. Disponível em: <<http://www.ufv.br/poscolheita/.../capitulo5.pdf>>. Acesso em: 22 Jan 2016.

APÊNDICE I

O uso de energia solar para aquecer água para banho já é muito usado atualmente e com comprovada eficiência energética e econômica.

Com o alto custo da energia, o payback do conjunto é rápido, muito viável.

Assim, numa propriedade onde há viabilidade na implantação de coletores para secagem de grãos, o técnico responsável pelo projeto deve também incluir um aproveitamento mais geral dessa energia renovável.

Para otimizar o uso do equipamento, considerando-se que todo ele geralmente fica no que se costuma chamar de “sede” – todas as construções da propriedade são próximas, isto é, num raio de 300 metros aproximadamente.

Neste perímetro, encontram-se as casas de moradores, curral, instalações de secagem do café, terreiro, tulhas, etc., Assim, pode-se usá-lo para esquentar água de banho dos moradores e a água onde houver sistemas agro industriais (queijaria, doces e compotas, etc).

A distância entre o equipamento e as casas e também o uso de encanamento apropriado à água quente (Aquatherm – que resiste até 80°C) e por ser de fácil instalação (com cola especial, resistente ao calor), torna o empreendimento viável.

O equipamento de coletores solar e trocador seria usado durante todo o ano, otimizando esse uso e eliminando o consumo do chuveiro elétrico.

A quantidade de água quente na propriedade, torna-se um ativo, podendo ter seu uso potencializado em diversas operações da propriedade.

Como é tradição, diz-se que as propriedades rurais em Minas Gerais, onde há o maior parque cafeeiro atual, produzem café com leite. Há diversas fazendas nesse Estado, que além de produção de leite, fazem o tradicional queijo com a matéria prima.

A água quente, tanto na limpeza da ordenha, como em um laticínio ou fábricas de alimentos, é muito importante. No presente, usam-se caldeiras para esse fim.

O volume de água utilizado por esse total de pessoas, é assim dimensionado:

$$V = 4 \text{ (casas)} \times 4 \text{ (pessoas)} \times 70 \text{ (litros por pessoa)}$$

$$V = 1.120 \text{ litros de água a } 45^{\circ}\text{C. (Vamos considerar 1.200 litros)}$$

A demanda de energia somente desses moradores, será:

$$E = \frac{V \times C_p \times (t_2 - t_1) \times 30}{3600} \quad \text{onde:}$$

E – demanda de energia em kWh/mês

V – volume diário de água quente a ser aquecida em litros

C_p – calor específico da água constante 4,18 kJ/kg°C

t_2 - Temperatura da água quente requerida para o uso específico em °C

t_1 - Temperatura da água fria

$$E = \frac{1.200 \times 4,18 \times (40 - 20,7) \times 30}{3600}$$

$$E = 806,74 \text{ kWh/mês}$$

ANEXO 1

TABELA INMETRO

15/02/2016

APLICAÇÃO: BANHO

1 FABRICANTE	2 MARCA	3 MODELO	4 PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO		5 ÁREA EXTERNA DO COLETOR	6 PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA		7 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA	8 CLASSIFICAÇÃO	9 MATERIAL SUPERFÍCIE ABSORVEDORA	10 Fr ₁₀₀₀	11 Fr _{UL}
			(kPa)	(mca)		Por Coletor	Por m ² (Específica)					
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	BOSCH	FCC224-2V	600,0	61,2	2,37	213,2	90,0	64,2	A	ALUMINIO	0,750	4,030
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	BOSCH	FCC220-2V	600,0	61,2	2,08	177,1	85,1	61,0	A	ALUMINIO	0,75	4,59
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC 10 EVOLUTION	400,0	40,8	1,00	78,9	78,9	57,1	A	ALUMINIO	0,71	5,92
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC 10 EVOLUTION PRO	400,0	40,8	1,00	84,2	84,2	60,8	A	ALUMINIO	0,76	5,97
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC 20 EVOLUTION PRO	400,0	40,8	2,00	168,5	84,2	60,8	A	ALUMINIO	0,76	5,97
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC 15 EVOLUTION	400,0	40,8	1,50	118,4	78,9	57,1	A	ALUMINIO	0,71	5,92
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC 15 EVOLUTION PRO	400,0	40,8	1,50	126,4	84,2	60,8	A	ALUMINIO	0,76	5,97
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC 20 EVOLUTION	400,0	40,8	2,00	157,8	78,9	57,1	A	ALUMINIO	0,71	5,92
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC10C	400,0	40,8	1,00	84,1	84,1	60,0	A	COBRE	0,744	5,825
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC15C	400,0	40,8	1,50	126,2	84,1	60,0	A	COBRE	0,744	5,825
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC18HIS	400,0	40,8	1,80	151,6	84,2	60,8	A	ALUMINIO	0,760	5,470
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HEUTEK	MC20C	400,0	40,8	2,00	168,2	84,1	60,0	A	COBRE	0,744	5,825
BRAUER	ARGUS	APOLO CROMO SUN V 1,50 x 0,85	392,0	40,0	1,28	92,4	72,3	52,9	B	ALUMINIO	0,696	7,351
BRAUER	ARGUS	APOLO CROMO SUN V 1,75 x 0,85	392,0	40,0	1,49	107,6	72,2	52,9	B	ALUMINIO	0,696	7,351
BRAUER	ARGUS	APOLO CROMO SUN V 2,00 x 0,85	392,0	40,0	1,70	122,7	72,2	52,9	B	ALUMINIO	0,696	7,351
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA 1,00 x 1,00	392,0	40,0	1,00	77,2	77,2	55,8	A	ALUMINIO	0,701	6,177
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 1,00 x 1,00	392,0	40,0	1,00	77,2	77,2	55,3	A	ALUMINIO	0,689	6,116
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 1,50 x 1,00	392,0	40,0	1,50	115,6	77,1	55,3	A	ALUMINIO	0,689	6,116
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 1,75 x 1,00	392,0	40,0	1,75	134,9	77,1	55,3	A	ALUMINIO	0,689	6,116
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 2,00 x 1,00	392,0	40,0	2,00	154,2	77,1	55,3	A	ALUMINIO	0,689	6,116
CENTER SOL	CENTER SOL	CSI CA 2,00X1,00	392,0	40,0	2,01	150,4	74,8	54,2	B	ALUMINIO	0,69	6,01
CLESSE DO BRASIL	VISSMANN	200-F	600,0	61,2	2,16	202,2	93,6	66,8	A	ALUMINIO	0,800	4,250
CLIMATIC DO BRASIL	ASTROSOL	MERCURY 1.0	400,0	40,8	0,93	64,4	69,2	50,2	C	ALUMINIO	0,64	5,57
CLIMATIC DO BRASIL	ASTROSOL	VULCANO 2.0	294,0	30,0	2,00	144,3	72,1	52,1	B	COBRE	0,65	5,36
COLSOL	COLSOL	PL100RE	400,0	40,8	1,00	82,0	82,0	58,8	A	ALUMINIO	0,759	7,199
COLSOL	COLSOL	PL130RE	400,0	40,8	1,30	106,6	82,0	58,8	A	ALUMINIO	0,759	7,199
COLSOL	COLSOL	PL150RE	400,0	40,8	1,50	123,0	82,0	58,8	A	ALUMINIO	0,759	7,199

A relação custo/benefício dos coletores pode ser avaliada pelo resultado da divisão do custo do coletor individual pela PME (coluna 6 desta tabela) deste mesmo coletor. Quanto menor o valor encontrado, melhor será esta relação para o usuário.

Um presidente transformador

Em menos de oito anos de mandato, Obama mudou a economia e política dos EUA

car o país na vanguarda da revolução energética emergente. Um exemplo: durante o governo Obama, o custo da energia solar despencou em 70% e a geração solar aumentou em 3.000%.

bro de ambos os partidos no Congresso para enfrentar a crise em todas as frentes: fiscal, monetária e regulatória. Como resultado, os EUA saíram da recessão em situação melhor do que qualquer outra economia importante.

A realização mais notável de Obama foi no campo da saúde, tendo aprovado uma lei pela qual hoje 90% dos americanos possuem um seguro médico. Embora a lei tenha seus problemas, alcançou o objetivo enunciado pela primeira vez por Theodore Roosevelt, há 100 anos. E ocorreu também uma transformação da política energética dos EUA. O governo realizou investimentos e ofereceu uma variedade de incentivos para colo-

Entrevista durante a campanha de 2008, Barack Obama disse que Ronald Reagan havia mudado os EUA de uma maneira que Richard Nixon e Bill Clinton não conseguiram. Claramente, Obama aspirava a ser um presidente transformador como Reagan. Nesse ponto, é justo afirmar que ele se tornou.

Veja o que ocorreu durante seu mandato com o país, com seu partido e, mais revelador, com sua oposição.

A primeira frase na biografia de Obama terá de indicar o que ele é, ou seja, o primeiro presidente negro dos EUA. No entanto, o que ele realizou

car o país na vanguarda da revolução energética emergente. Um exemplo: durante o governo Obama, o custo da energia solar despencou em 70% e a geração solar aumentou em 3.000%.

Obama também adotou uma nova política externa, com base nas lições das últimas décadas, que limita o envolvimento no Oriente Médio e se concentra no combate ao terrorismo. Isso deixou o governo livre para buscar novas estratégias para países como Irã e Cuba e direcionar a atenção e recursos para a região da Ásia-Pacífico, que em poucos anos abrigará quatro das cinco maiores economias do mundo.

Do mesmo modo que Reagan consolidou a posição ideológica do Partido Republicano de defesa do livre mercado, publicano de defesa do livre comércio, uma política externa expansiva e uma perspectiva otimista, Obama contribuiu para impelir o Parti-

do Democrata no sentido de usar o governo para atingir objetivos públicos. E o partido correspondeu.

Na entrevista de 2008, Obama ressaltou que Reagan não transformou o país sozinho. Ele se beneficiou da mudança do estado de espírito nacional. O mesmo pode ser dito com relação aos EUA atualmente. Anos de salários estagnados, desigualdade crescente e crise financeira criaram um novo clima político que Obama ajudou a forjar.

O maior impacto da sua presidência, contudo, pode ser observado na oposição, que está em pleno colapso ideológico. Examinando esse cenário, Daniel Henninger, colunista conservador, escreveu no *Wall Street Journal* que Obama "está próximo de destruir seus inimigos políticos, o Partido Republicano, o movimento conservador e o legado de Ronald Reagan no âmbito das políticas públicas. Nesse aspecto, o sucesso de Obama, se podemos chamar assim, é passivo. Ele deixou que seus oponentes se autodestruíssem e nunca abusou da sua posição."

Desde o primeiro mês do mandato de Obama, o Partido Republicano decidiu que ele era um radical socialista contrário a qual se deveria opor de qualquer modo. Mas Obama não caiu na armadilha e governou a partir da centro-esquerda. Não foram somente gestos. Durante as negociações envolvendo o orçamento, Obama fez uma concessão à reforma da Previdência Social la-

maís feita por qualquer democracia concordando em reduzir o aumento anual automático dos benefícios, que enfureceu a base do partido. E que republicanos rejeitaram a oferta, que seguramente lamentam já que, provavelmente, jamais será oferecida outra vez pelos democratas.

Talvez o fato de não conseguir apresentá-lo como socialista, ou talvez por outras razões, grande parte da retórica republicana no tocante a Obama se tornou pessoal – com inúmeras especulações sobre sua origem, raça, religião e patriotismo. Obama jamais se defendeu contra-atacou, demonstrando disciplina mesmo com a oposição se tornando cada vez mais feroz.

Se Obama manteve serenidade, o Partido Republicano se entorrou a mais na política de identidade, contemplando por alto problemas de caráter étnico, racial, religioso e afastando de seus dogmas que são o governo limitado, livres mercados e livre comércio – o que vem provocando uma implosão ideológica.

...quando uma impropriação decorre de um erro que não sabemos ainda o que surgirá de nós mesmos. Obama tem insistido que um dos seus princípios de política externa é "não cometer alguns erros da estupidez". Ao que parece, funciona também para a política interna.

TRADUÇÃO DE TEREZINHA MARTINO

* **COLUNISTA**

