

ANÁLISES TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR COM BOMBA DE CALOR

Mário Paulo Drumond Lages de Oliveira- mario_drumond@yahoo.com.br

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

Ana Maria Aragão Vidal- aninha_bh8@yahoo.com.br

Paulo Eduardo Lopes Barbieri- barbieri@des.cefetmg.br

Núcleo de Pesquisas em HVAC&R - Centro de Eficiência Energética
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG
Dept. de Eng. Mecânica, Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000,
Tel /Fax: (55) (31)3319-5208.

Resumo: *Este trabalho apresenta uma metodologia para análise da viabilidade técnica e econômica de sistemas de aquecimento de água solar utilizando bomba de calor como equipamento auxiliar de energia. Foi elaborado um algoritmo utilizando-se como plataforma uma planilha eletrônica composta de vários macros para análise da área ótima dos coletores, do volume do tanque de água quente e a potência da bomba de calor. Para análise técnica utilizou-se o método “F-Chart”, enquanto que, para análise econômica utilizou-se o método do “Valor Presente do Custo Total” e da “Lucratividade”. O estudo de um caso é apresentado utilizando-se o modelo técnico e econômico proposto. Adicionalmente, apresentam-se análises paramétricas mostrando a influência de diferentes variáveis e parâmetros sobre a “Lucratividade” do investimento.*

Palavras Chaves: Energia solar, Bomba de calor, Aquecimento de água, Análise econômica.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento de água utilizando coletores solares constitui um campo promissor para a economia de energia elétrica, sobretudo no Brasil, que é um país privilegiado por seu clima tropical, dispondo de uma alta taxa de incidência de radiação solar. Além disso, o aquecimento de água para banho, na grande maioria das edificações, é feito através da energia elétrica. O aquecimento solar no setor residencial já se encontra num estágio de tecnologia avançado e praticamente consolidado, enquanto que, os setores comercial (e.g., hotéis e restaurantes), industrial, terciário (e.g., edificações públicas) e hospitalar têm se mostrado como fortes segmentos e com alta demanda para expansão, principalmente o setor comercial (Faria, 2005). Entretanto, o sistema solar não consegue atender toda a carga anual de aquecimento, devido às baixas taxas de radiação solar no período chuvoso. Para solucionar esse problema o sistema de aquecimento solar necessita de uma fonte de energia auxiliar. Neste projeto iremos analisar a bomba de calor como fonte de energia auxiliar. A bomba de calor foi selecionada por ser mais eficiente na conversão de energia elétrica em energia térmica do que o aquecedor de passagem baseado em resistência elétrica (Cristiano 2005). O fator de eficiência de um sistema de aquecimento de água pode ser definido como a razão entre a energia térmica produzida e a energia consumida. No sistema de aquecimento por resistência elétrica, o fator de eficiência é no máximo igual à unidade, ou seja, é necessário comprar uma quantidade de energia elétrica no mínimo igual à energia térmica desejada. Para a bomba de calor, o fator de eficiência é denominado “Coeficiente de Performance - COP”, e é no mínimo igual à unidade o que significa que a potência elétrica consumida é sempre inferior à energia térmica desejada.

Os sistemas solares não convencionais (*coletor solar + bomba de calor*) comparados aos sistemas solares convencionais (*coletor solar + resistência elétrica*) podem possibilitar grande redução da carga elétrica durante os horários de pico das concessionárias de energia elétrica

contribuindo, portanto, para a redução dos custos das concessionárias como também para redução dos custos de energia elétrica pagas pelo usuário final. Entretanto, para viabilizar a implantação de sistemas de aquecimento solar não convencionais (com bomba de calor) em sistemas de médio e grande porte é necessário realizar análise técnica e econômicas visando apresentar ao investidor a lucratividade do investimento e sua competitividade comparada com outros sistemas de aquecimento, que utilizam outras fontes de energia. Neste trabalho foi elaborada uma planilha eletrônica composta de vários macros, contendo o modelo de análise técnica “*F-chart*”, e o modelo de análise financeira “Valor Presente Líquido e Lucratividade”. Estes macros foram implementados de forma a possibilitar a união dos dois modelos (técnico e financeiro), permitindo flexibilidade para entrada de diversos parâmetros e variáveis. Adicionalmente, estes macros permitem a realização de várias análises paramétricas. Como exemplo, é apresentado neste trabalho o estudo de um caso relativo a uma instalação de aquecimento solar de água de grande porte, situada na cidade de Belo Horizonte.

2. METODOLOGIA

Para análise técnica do sistema de aquecimento solar não convencional (*coletor solar + bomba de calor*) foi utilizado o método “*F-Chart*”, que permite verificar o desempenho térmico dos sistemas de aquecimento solar para aquecimento de água (Duffie et al. 1999), em combinação com uma análise econômica baseada nas metodologias do “Valor Presente do Custo Total” e da “Lucratividade” (Cruz, 2000) e (Krarti, 2000). Uma planilha eletrônica, previamente elaborada por Cristiano et al. (2005) permite realizar a análise técnico-econômica de sistemas de aquecimento solar de água do tipo não convencionais (*coletor solar + resistência elétrica*). Esta planilha foi expandida e adaptada para analisar os sistemas de aquecimento solar de água não convencionais. Esta planilha utiliza programas “macros” desenvolvidos para gerar gráficos das várias variáveis. Adicionalmente, foi elaborada e incorporada à planilha uma interface (programa “Visual Basic”), que permitir interação fácil com o usuário de forma a possibilitar a realização de simulação das diferentes variáveis e verificação dos seus impactos na performance dos sistemas.

2.1 F-Chart

O método “*F-Chart*” (Duffie et al. 1999) é utilizado para predição do desempenho térmico de sistemas de aquecimento solar de água quente. O método “*F-Chart*” é essencialmente uma correlação desenvolvida a partir de resultados obtidos de centenas de simulações e análises de campo de sistemas de aquecimento solar. Esta correlação permite determinar a fração solar “*f*” definida como a fração da carga de aquecimento mensal atendida pelo sistema solar considerando-se uma área instalada de coletores solares. Essa fração solar depende das duas variáveis adimensionais “*X*” e “*Y*” que interpretam as perdas térmicas e os ganhos de energia do sistema solar, respectivamente. Esses dois parâmetros também levam em conta as características térmicas específicas de cada coletor dadas pelos seus fabricantes, carga de aquecimento mensal, radiação solar diária média mensal incidente no plano do coletor, e a temperatura diária média mensal ambiente. A correlação da fração solar “*f*” é dada pela equação 1.

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad (1)$$

A variável adimensional “*X*”, apresentada pela equação 2, representa a razão entre a energia mensal perdida pelo coletor e a carga de aquecimento mensal requerida.

$$X = \frac{A_c \cdot F_R \cdot U_L \cdot (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t_{mês}}{L \cdot 10^6} \cdot C_a \quad (2)$$

Onde: “ A_c ” é a área total de coletores [m^2]; “ F_R ” é o fator de remoção de calor do coletor (adm); “ U_L ” é o coeficiente global de transferência de calor do coletor [$W/m^2/^\circ C$]; “ T_{ref} ” é a temperatura de referência, sendo adotado o valor de $100^\circ C$; “ T_a ” é a temperatura diária média mensal do ar ambiente [$^\circ C$]; “ $\Delta t_{mês}$ ” é o número de segundos do mês [s/mês] (i.e., número de dias do mês vezes 86400 s/dia); “ L ” é a carga de aquecimento mensal [MJ/mês]; “ 10^6 ” fator de conversão de MJ para Joules e “ C_a ” é o fator de correção para a capacidade de armazenamento, dado pela equação 3.

$$C_a = \left(\frac{C_{ad}}{75} \right)^{-0,25} \quad (3)$$

onde “ C_{ad} ” é a capacidade de armazenamento específica desejada, enquanto que, “75” é a capacidade de armazenamento específica padrão (litros/ m^2), adotado pelo modelo “ F -chart”.

Simulações realizadas neste trabalho mostram que a capacidade de armazenamento de água quente por unidade de área de superfície coletora (litros/ m^2), afeta pouco a fração solar “ f ” do sistema de aquecimento solar desde que essas capacidades apresentem valores superiores à 50 litros/ m^2 . Entretanto, este parâmetro pode ter uma influência direta no valor inicial do investimento. Neste trabalho esta variável será avaliada na parte da análise econômica. O modelo “ F -Chart” recomenda valores de capacidade de armazenamento específica entre 35 e 300 l/ m^2 .

A variável adimensional chamada “ Y ”, apresentada pela equação 4, representa a razão entre a energia absorvida pela superfície coletora e a carga de aquecimento mensal requerida.

$$Y = \frac{A_c \cdot F_R \cdot \tau \alpha \cdot \bar{H}_{Tmês} \cdot D_m}{L} \quad (4)$$

onde: “ A_c ” é a área total de coletores [m^2]; “ F_R ” é o fator de remoção de calor do coletor; “ $\tau \alpha$ ” é o valor médio mensal do produto “transmissividade da cobertura vezes a absorvidade da superfície absorvedora”; “ $\bar{H}_{Tmês}$ ” é a radiação solar diária média mensal incidente no plano do coletor [MJ/ m^2 .dia]; “ D_m ” é o número de dias no mês [dias/mês] e “ L ” é a carga de aquecimento mensal [MJ/mês].

O valor do parâmetro “ $\bar{H}_{Tmês}$ ” pode ser obtido através de softwares de simulação de radiação solar. Neste trabalho utilizou-se o software “Meteonorm” para determinação da radiação solar diária média mensal incidente no plano do coletor. A carga de aquecimento mensal “ L ” é determinada através de balanços de energia levando em conta o consumo diário de água quente, conforme mostrado na equação 5.

$$L = \frac{B_d \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot t_b \cdot D_m \cdot c \cdot (T_{aq} - T_{af})}{1000} \quad (5)$$

onde: “ B_d ” é o número de banhos por dia [banhos/dia]; “ $\dot{V}$ ” é a vazão de água quente para banho [l/min]; “ ρ ” é a massa específica da água igual a 1 Kg/l; “ t_b ” é o tempo de banho [min/banho]; “ D_m ” é o número de dias do mês [dias/mês]; “ c ” é o calor específico da água igual a 4,186 KJ/Kg. $^\circ C$; “ T_{aq} ” é a temperatura da água quente para consumo [$^\circ C$]; “ T_{af} ” é a temperatura da água fria [$^\circ C$] e “1000” é o fator de conversão de KJ para MJ.

Os adimensionais “ X ”, “ Y ” e a fração solar mensal “ f ” devem ser calculados para cada mês do ano para então se obter a fração solar média anual “ F ”, conforme mostrado pela equação 6.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i} \quad (6)$$

onde: “ f_i ” é a fração solar mensal de cada mês e “ L_i ” é a carga de aquecimento mensal de cada mês [MJ/mês].

2.2 Valor Presente do Custo Total

Este método transporta para o momento presente todos os custos envolvidos no empreendimento para verificação da lucratividade do investimento. O custo total é a soma dos custos do sistema de aquecimento solar “CSS” e do sistema de aquecimento auxiliar “CEA”. O custo “CSS”, dado pela equação 7, é o valor do investimento inicial necessário para aquisição do sistema solar, incluindo o sistema de aquecimento auxiliar (i.e., bomba de calor).

$$CSS = A_c \cdot CV + CF + CM + CB \quad (7)$$

onde: “ A_c ” é a área total de coletores [m^2]; “ CV ” é o custo variável da instalação [R\$/ m^2]; “ CF ” é o custo fixo da instalação (i.e., alvenaria, acessórios, quadro de elétrico, controles, etc.) [R\$]; “ CM ” é o custo de manutenção da bomba de calor [R\$] “ CB ” é o custo do sistema auxiliar (i.e., bomba de calor) [R\$]. O custo “ CB ” também é fixo e depende da carga térmica e do número de horas de funcionamento durante o dia.

O custo “CEA”, dado pela equação 8, representa o custo total da energia elétrica requerido pelo sistema de aquecimento auxiliar (i.e., bomba de calor) transportado para o instante inicial (instante presente). Este custo se deve ao fato do sistema de aquecimento solar não conseguir atender plenamente a carga de aquecimento mensal devido à estação de chuvas. Adicionalmente, se o sistema de aquecimento solar for dimensionado de forma a atender toda a carga diária total, haverá excesso de energia coletada principalmente nos dias quentes e ensolarados de verão. Este fato leva a um funcionamento ineficiente do sistema (i.e., baixo rendimento térmico dos coletores) e necessidade de rejeição de parte da energia armazenada, o que tornará o sistema inviável do ponto de vista econômico.

$$CEA = \frac{(1-F) \cdot L_{anual} \cdot T_e \cdot FVA}{3,6 \cdot COP} \quad (8)$$

onde: “ F ” é a fração solar anual; “ L_{anual} ” é a carga de aquecimento anual [MJ/ano]; “ T_e ” é o custo da energia elétrica, que depende da modalidade tarifária em uso pelo consumidor [R\$/KWh]; “ FVA ” é o fator de valor atual; “3,6” é o fator de conversão de MJ para KWh; “ COP ” é o coeficiente de performance da bomba de calor.

O fator “ FVA ”, dado pela equação 9, é o termo que traz para o instante presente os valores gastos anualmente com a energia elétrica (sistema auxiliar) durante toda a vida útil da instalação. Este fator leva em conta, além do tempo de vida útil do equipamento, as taxas de juros de mercado e a taxa de inflação da energia elétrica, portanto, o valor do dinheiro ao longo do tempo.

$$FVA = \frac{(1+i')^n - 1}{i' \cdot (1+i')^n} \quad (9)$$

onde: “ n ” é número de anos de vida útil do sistema solar; “ i' ” a taxa de juros real, dada pela equação 10, e definida como a taxa de juros de mercado decrescida da inflação da energia elétrica.

$$i' = \frac{TMR - i}{1 + i} \quad (10)$$

Da equação 10 “ TMR ” é a taxa de juros de mercado, conhecida como a “Taxa Mínima de Retorno” e “ i ” é a taxa de inflação da energia elétrica.

A equação 9 é válida para $i \neq TMR$. No caso de “ i ” ser igual a “ TMR ” a solução da equação 9 se torna indeterminada. Neste caso deve-se levantar a indeterminação resolvendo o limite da equação 9, ou seja, fazendo i' tender à zero. O resultado é apresentado pela equação 11.

$$FVA = n \quad (11)$$

O sistema de aquecimento solar será recomendado sempre que o valor presente da soma dos custos “CSS” mais “CEA” for menor que o custo “GEE”. O custo “GEE” é o valor presente dos gastos com energia elétrica quando toda a energia térmica é proveniente de sistemas convencionais de aquecimento (e.g, aquecedores elétricos de passagem “chuveiros elétricos” e acumuladores elétricos “bilers com resistências elétricas”). No caso do sistema de aquecimento ser feito com bomba de calor dedicada, “GEE” será o custo da energia elétrica consumida para atender toda a carga de aquecimento anual. Portanto, o sistema solar será indicado sempre que houver lucro (lucratividade). O lucro é definido conforme mostrado pela equação 12 .

$$\text{Lucro} = \text{GEE} - (\text{CSS} + \text{CEA}) \quad (12)$$

Observa-se que o lucro depende da área de coletores utilizada, portanto, a área ótima de coletores será aquela que apresentar o maior lucro (i.e., lucratividade).

Existem também outros indicativos econômicos mais simples, que podem ser utilizados para tomada de decisão quanto a implantação de um sistema de aquecimento solar. Esses fatores são: o “Pay Back” e a “Taxa Interna de Retorno - TIR”.

O fator “Pay Back” é o tempo de retorno de um investimento, ou seja, o tempo necessário para o investimento começar a dar lucro. Existem dois tipos de payback: O “PBA” (Pay Back Ajustado) e o “PBS” (Pay Back Simples). O “PBA”, dado pela equação 13, é definido como a razão entre o investimento realizado no instante inicial e os valores das economias anuais ao longo da vida útil do sistema que são transportadas para o instante inicial (i.e., instante presente).

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia de energia}} \quad (13)$$

O termo do denominador é o custo de energia elétrica economizada ao longo da vida útil do sistema devido ao suprimento da mesma pelo sistema de aquecimento solar.

O “PBS” simples é definido como a razão entre o investimento realizado no instante inicial e os valores das economias anuais, que neste caso são consideradas fixas ao longo da vida útil do equipamento.

O indicador “TIR” é a taxa de juros que iguala o valor presente dos investimentos com o valor presente dos gastos anuais. No caso do sistema de aquecimento solar “TIR” é a taxa de juros que iguala o custo inicial do sistema solar com o valor presente das economias anuais de energia elétrica ao longo da vida útil do sistema. Para cálculo do indicador “TIR” determina-se primeiramente o fator “FVA_t” (fator de valor atual para cálculo do “TIR”), conforme apresentado na equação 14.

$$FVA_t = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economias de energia}} \quad (14)$$

Substitui-se FVA” por “FVA_t” na equação 9 “para determinação de “ i ´ ”. Finalmente, substitui-se “i ´ ” na equação 10, para determinação do “TIR”. O investimento é recomendado se TIR > TMR.

2.3 Algoritmo

O algoritmo utilizado na planilha consiste das seguintes etapas:

- 1º: Calcula-se as cargas mensais e anual de consumo.
- 2º: Entra-se com os valores das radiações diária média mensal incidente no plano dos coletores.
- 3º: Entra-se com os valores das temperaturas médias diárias mensais.
- 4º: Entra-se com os parâmetros do coletor: “F_R.τα” e “F_RU_L” obtidos de curvas do fabricante.
- 5º: Entra-se com os dados da Bomba de calor: Potencia termica (kW); COP e custo para a capacidade térmica analisada. Pode-se entrar também com o custo específico em “R\$/kW”.

- 6º: Inicia-se o valor da área total de coletores com o valor inicial igual a zero, para uma dada capacidade específica de armazenamento.
- 7º: Calcula-se os adimensionais “X”, e “Y” e as frações solares “ f_i ” e “F”.
- 8º: Entra-se com os índices econômicos: “TMR”, “i”, “n”. Calcula-se o “FVA”.
- 9º: Entra-se com os custos “CV” e “CS” e “ T_e ”.
- 10º: Calcula-se: “CEA”, “CSS” e o custo total do sistema solar para a área em questão.
- 11º: Incrementa-se a área de coletores e repete-se o cálculo a partir do item 5.
- 12º: Gera-se o gráfico do lucro em função da área.
- 13º: Determina-se a área ótima de coletores.
- 14º: Gera-se os gráficos de lucro em função da área do coletor para diferentes: “ C_{ad} ”, “TMR”, “i”, “n”, “CSS” e “ T_e ”.
- 15º: Gera-se o gráfico que apresenta os valores de “ C_{ad} ” e do custo total mínimo em função da área ótima.
- 16º: Entra-se com a área disponível para a instalação dos coletores.
- 17º Calcula-se a capacidade de armazenamento específica para o projeto em questão.
- 18º Checa-se a área ótima com a área disponível. Caso a área ótima seja superior a área disponível refaz-se os cálculos para se obter a “lucro” e outros parâmetros para a área disponível.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE UM CASO

A instalação analisada é um vestiário de uma grande indústria localizada na cidade de Belo Horizonte (latitude 19° 56' e longitude 43° 57' oeste). Este vestiário apresenta um consumo diário de água quente de 21.000 litros, equivalente a 300 banhos por dia. As temperaturas da água fria e de água quente de consumo são 20°C e 45°C, respectivamente, o que corresponde a uma carga térmica diária de 2,2 MJ. A área disponível para instalação dos coletores é sobre o telhado da edificação. O telhado apresenta inclinação de 10° e é dividido em dois lados simétricos. Os ângulos azimutes das partes simétricas são 70° e 110°, respectivamente, medidos em relação ao sul. Neste estudo foi levada em consideração essas orientações, para realização do cálculo da área ótima de coletores utilizando “bomba de calor do tipo ar-água” como fonte de energia auxiliar. Os coletores serão instalados nas duas seções do telhado e a inclinação dos mesmos será a mesma do telhado.

3.1 Resultados obtidos

A simulação resultou numa área ótima de coletores de 241 m² e volume do tanque de água quente de 18.075 litros (correspondente a uma capacidade específica de armazenamento padrão de 75 l/m²). A área ótima de coletores responde por 67,2% da carga de aquecimento total anual, sendo que o restante da carga de aquecimento (32,8%) é atendido pela bomba de calor.

O sistema de aquecimento auxiliar constou de 2 bombas de calor do tipo ar-água, operando 15 horas por dia tendo cada uma potência de aquecimento de 21,7 kW, totalizando 43,4 kW de potência e carga total diária de 2,34 MJ. O “COP” das bombas de calor dado pelo fabricante é igual a 4,5 para uma temperatura da água de 45°C. Entretanto, para esta análise foi considerado um “COP” (conservador) igual a 2,5, devido ao fato da temperatura final da água no reservatório ser de aproximadamente 50°C, o que poderia implicar em redução da eficiência da bomba. O preço de cada bomba é de R\$9.906,00, totalizando um custo de R\$19.912,00 para o sistema auxiliar.

Os valores econômicos mostram: lucro de R\$ 420.016,00; pay back ajustado de 4,2 anos; pay back simples de 3,7 anos; e taxa “TIR” de 42,8%. Através destes resultados conclui-se que o investimento pode ser considerado viável, pois, além de gerar lucro, proporciona uma taxa “TIR” superior a “TMR” (42,8% contra 18%), e o pay back ajustado e simples apresentarem valores razoáveis inferiores à quatro anos. Os custos do sistema solar são distribuídos da seguinte forma: coletores (48%), bomba de calor (11%); reservatório e custos fixos (41%). Dados de uma simulação realizada previamente para um sistema de aquecimento solar convencional que atendesse a mesma carga térmica mostram uma área ótima de 318 m² que responde por 78,7% da carga anual total e um

reservatório de água quente de 23.850 litros. Figura 1 mostra os valores presentes dos diferentes custos e a lucratividade para várias áreas de coletores.

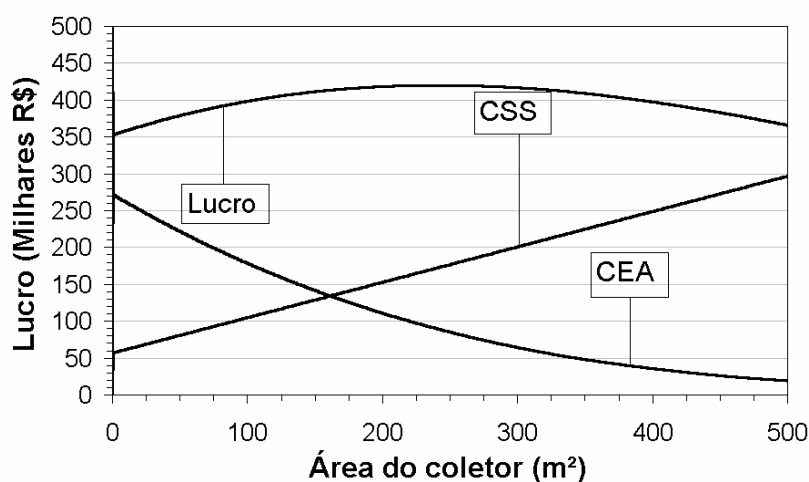


Figura 1: Lucro em função da área do coletor.

4. ANÁLISE PARAMÉTRICA

Esta seção apresenta a influência dos parâmetros “ C_{ad} ”, “TMR”, “ i ”, “CSS”, e “ T_e ” sobre a lucratividade do investimento no sistema de aquecimento solar.

4.1 Taxa Mínima de Retorno

A taxa mínima de retorno “TMR” é a taxa estipulada pelo investidor como aquela que dará o menor lucro aceitável para o investimento. Esta taxa depende da habilidade do investidor em aplicar o dinheiro sendo, portanto, a taxa que leva em conta o valor do dinheiro ao longo do tempo. A figura 2 apresenta o lucro em função da área para diferentes valores de “TMR”.

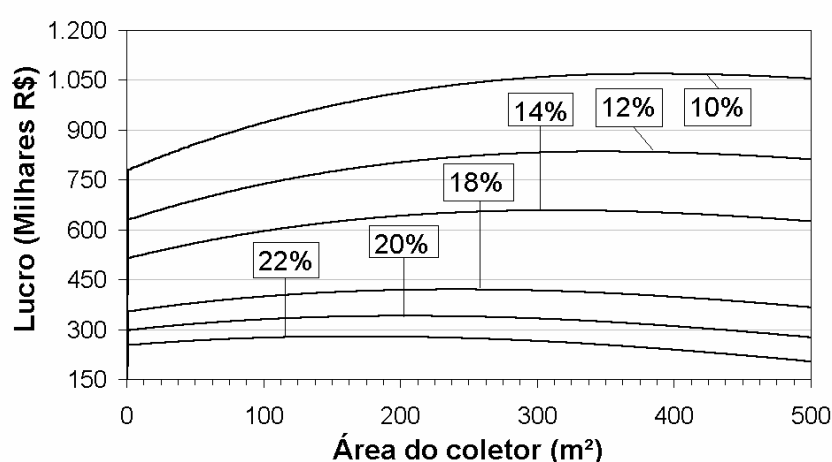


Figura 2 – Influência da taxa mínima de retorno.

Pode-se constatar pela figura 2 que quanto maior a habilidade do investidor em aplicar o seu dinheiro ou quanto maior a taxa de juros conseguida no mercado financeiro, menor será a viabilidade para aplicação do dinheiro em um sistema de aquecimento solar. O investidor terá maior lucro investindo o dinheiro no mercado financeiro em vez de usá-lo na aquisição de um sistema

solar. Os valores da “TMR” oferecidos pelo mercado financeiro são inferiores a 18% ao ano. Este valor corresponde à investimentos em “CDBs” (certificados de depósito bancário). A maioria da população prefere investir na caderneta de poupança que oferece uma taxa em torno de 9% ao ano, portanto, conclui-se que o investimento em um sistema solar é na maioria das vezes viável.

4.2 Taxa de Inflação da Energia Elétrica

A taxa de inflação da tarifa de energia elétrica “i” tem mostrado nos últimos anos índices superiores ao índice geral de inflação. Este fato reforça a viabilidade do sistema solar. A figura 3 apresenta a variação do lucro em função da área do coletor para diferentes valores de “i”.

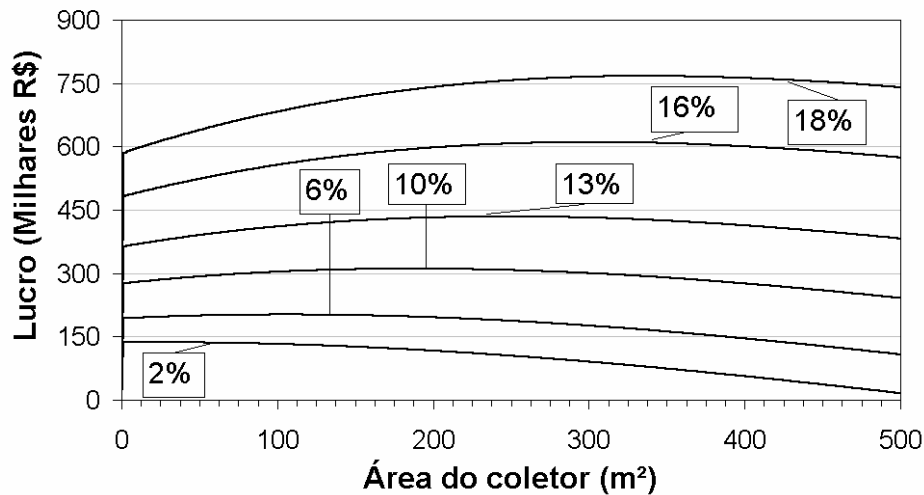


Figura 3 – Influência da taxa de inflação da energia elétrica

Verifica-se que o lucro aumenta com o aumento do índice de inflação da energia elétrica, devido ao aumento dos custos com energia auxiliar (i.e., energia elétrica).

4.3 Custo do Sistema Solar

A figura 4 apresenta a variação do lucro em função da área ds coletores, considerando diferentes os custos variáveis do sistema solar “CSS” (R\$/m²).

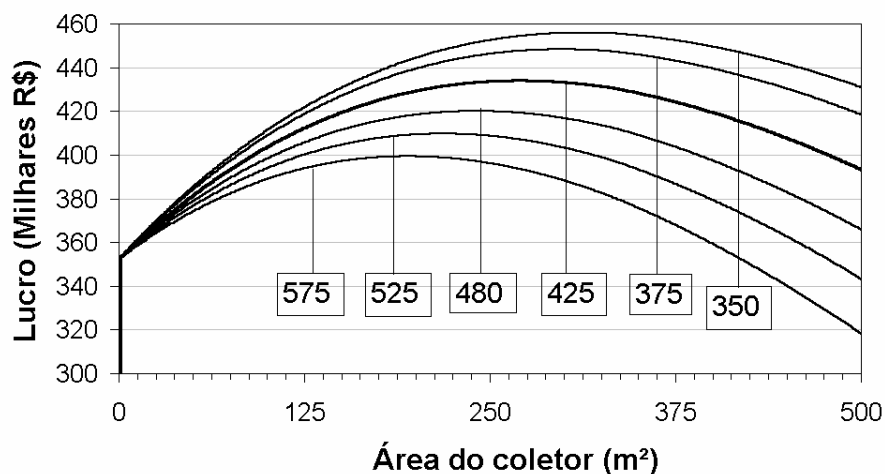


Figura 4 – Influência do custo sistema solar - R\$/m²

Analisando a figura 5 observa-se que quanto maior o preço unitário (R\$/m²) dos componentes do sistema de aquecimento solar menor será o lucro obtido. Os principais componentes deste custo, para este caso estudado, são as bombas de calor e o restante dividido entre o custo dos coletores solares, o custo do tanque de armazenamento de água quente e os custos fixos.

4.4 Custo da Energia Elétrica

A figura 5 apresenta a variação do lucros em função da área dos coletores, considerando diferentes valores do preço da energia elétrica (R\$/kWh).

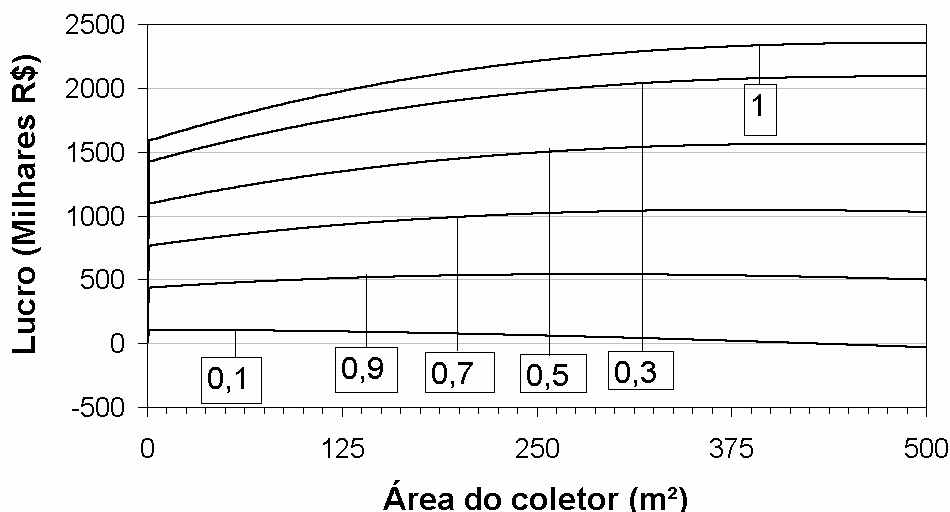


Figura 5 – Influência do preço da energia elétrica

Conforme mostra a figura 6 o lucro aumenta a medida que o preço da energia elétrica aumenta. Isso significa que os consumidores do setor residencial apresentam grande potencial para obtenção de lucro, uma vez que o preço da energia elétrica para este setor é cerca de 3,5 vezes ao do setor industrial. No setor comercial o valor dessas tarifas também são superiores aquelas do setor industrial possibilitando, portanto, a obtenção de lucros.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho constou do desenvolvimento e implementação de um algoritmo capaz de simular e avaliar do ponto de vista técnico e econômico sistemas de aquecimento de água utilizando coletores solares e bomba de calor como sistema de energia auxiliar. Esta ferramenta computacional foi utilizada para análise de uma instalação de grande porte, apresentando os seguintes resultados: área ótima de coletores de 77 m² e capacidade específica de armazenamento de 75 l/m². Foi verificado que a capacidade específica de armazenamento deve ser a menor possível para maximização dos lucros. Observou-se ainda que a utilização de bombas de calor como sistema de energia auxiliar é recomendada para instalações de grande carga térmica e para projetos onde os coletores tem eficiência restrita. Foi realizado uma análise paramétrica para verificação da influência dos diferentes fatores econômicos na lucratividade do sistema, e constatou-se que o sistema solar não convencional proporciona um pay-back de 5,8 anos e um “TIR” de 34,8%

6. REFERÊNCIAS

CALIJORNE, Christiano de Barros e Neto José Henrique Martins (2005). “Análise técnica e econômica de sistemas de aquecimento de água com coletores solares”; Cruz, E. J. C, (2000). “Apostila Matemática Financeira” – Series Uniformes – Rendas Certas, CEFET-MG;

CRUZ, E. J. C, (2000). *Apostila Matemática Financeira. Series Uniformes – Rendas Certas*, CEFET-MG.

DUFFIE, J. A. And Beckman W. A. (1991). “*Solar Engineering of Thermal Processes*, capítulo 20,” John Wiley & Sons, Inc., New York.

FARIA C. F. C., (2005). “*Aquecimento Solar - Setor cresce no segmento não residencial*”, Revista ABRAVA, V. 222.

Krarti M., (2000).” *Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach*”, CRC Press, Bota Raton, FL.

ANALYSES TECHINICAL AND ECONOMIC OF A SOLAR HEATING SYSTEM WITH HEAT PUMP

Ana Maria Aragão Vidal- aninha_bh8@yahoo.com.br

Mário Paulo Drumond Lages de Oliveira- mario_drumond@yahoo.com.br

Paulo Eduardo Lopes Barbieri- barbieri@des.cefetmg.br

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

Federal Center of Technological Education of Minas Gerais CEFET-MG, Dept. of Eng. Mechanics, Av.
Amazon 7675, Belo Horizonte, 30510-000,

This work presents a methodology for analyses of the viability technical and economical of a solar water heating system using heat pump as auxiliary equipment. It was elaborated an algorithm using a spreadsheet composed of various “macros” for analyses of installations that demand high hot water consumption for shower. The algorithm determines the optimum solar collector area, the hot water tank capacity and the size of the heat pump. For the technical analyses it was used the “F-Chart” method, while for the economical analyses it was used a method based on the “Net Present Worth” and the “profitable index”. A case study has been shown using the proposed methodology. Further a parametric analyse has been conducted and shows the effect of different variable and their impacts over the investment.