

## SECADOR VERTICAL SOLAR PARA AMÊNDOAS DE CACAU VERTICAL SOLAR DRYER FOR ALMOND COCOA

Everton Costa Santos; Jorge Henrique de Oliveira Sales  
Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia- PPGMC  
Universidade Estadual de Santa Cruz –UESC – Ilhéus/BA – Brasil  
[ecsantos@uesc.br](mailto:ecsantos@uesc.br), [jhosales@uesc.br](mailto:jhosales@uesc.br)

### Resumo

*Este artigo apresenta a simulação de um secador vertical solar e sua eficiência em relação ao método tradicional. A partir de um programa computacional, obtém-se a geometria, efeitos térmicos e mecânicos. Em seguida, é feita uma simulação para a transferência de calor via condução, convecção e radiação. Para teste de confiabilidade, faz-se uma comparação dos resultados obtidos com os dados simulados nas barcas.*

**Palavras-Chave:** CAD; Energia Solar; Estufa

**Abstract:** *This paper presents the vertical solar dryer simulation and its efficiency compared to traditional method. Using computer program geometry, thermal and mechanical effects is obtained. After simulation is made to heat transfer via conduction, convection and radiation. For reliability test we make a comparison of our results with simulated data on the barges.*

**Keywords:** CAD, Solar Energy, Kiln.

### 1. Introdução

A cultura do cacau há tempos foi muito importante para a economia da Bahia, passando por fases de auge, com alta produtividade, mas também por fases de decadências com o surgimento da vassoura-de-bruxa, que reduziu muito a produção da amêndoa prejudicando também a qualidade das mesmas.

Os frutos de cacau apresentam características alongadas com alguns sulcos. Martins (2007), diz em seu trabalho que o tamanho destes frutos varia conforme a espécie,

variedade, solo, clima e qualidade da árvore, e medem de 12 a 20 cm, pesando entre 300 g e 600 g. Possui uma expressiva riqueza em matérias gordas e substâncias azotadas.

No final da década de 80, com a vassoura de bruxa, a produção teve um grande declínio, mas ainda hoje o cacau apresenta-se como uma importante atividade no interior da Bahia.

Para Neiva (2010), apesar de a vassoura-de-bruxa ter impactado esta cultura, o cacau ainda se constitui numa alternativa econômica para muitos na região, empregando atualmente, no eixo Ilhéus-Itabuna, cerca de 90 mil pessoas.

Para a produção do chocolate, a amêndoa de cacau passa por processos específicos, dentre os quais, o de secagem. Atualmente, existem muitas formas de secagem de grãos como secagem à lenha e secagem com vapor superaquecido, mas o produto proposto neste artigo tem relação direta com a secagem de grãos através da energia solar, onde se percebe a predominância de estufas enormes para a realização deste processo, ocupando extensas áreas para um lucrativo processo de secagem. Este trabalho propõe um sistema para a secagem de grãos vertical, uma estufa especial, cuja altura é aproveitada para o processo de secagem, devido ao empilhamento de bandejas no interior da mesma. Isto traz algumas vantagens, tais como redução drástica da área de secagem, redução do esforço manual devido a um mecanismo específico de fluxo de bandejas e utilização tão somente da energia solar.

A aplicação de ferramenta de CAD/CAE (*Computer Aided Design/Engineering*) apoiou o desenvolvimento deste trabalho. As mesmas são importantes estratégias das empresas, seja na redução de custos com protótipos, seja na garantia de uma melhor confiabilidade dos produtos. Para Motta (1997), a utilização de sistemas computacionais em diferentes áreas da engenharia, consiste em uma exigência do mercado atual globalizado e altamente competitivo, uma vez que as empresas necessitam produzir cada vez mais, melhor, e ainda com redução de custos.

## **2. Metodologia**

No primeiro momento, foram coletados dados referentes às estufas solares tradicionais, como materiais e princípios de funcionamento, dados estes que ajudaram a definir os *inputs* para a simulação do sistema proposto neste trabalho. Posteriormente, se definiu a geometria da estufa verticalizada com ferramenta de CAD/CAE; neste caso, o *software* SolidWorks foi utilizado, para logo após se iniciar o processo de simulações com o

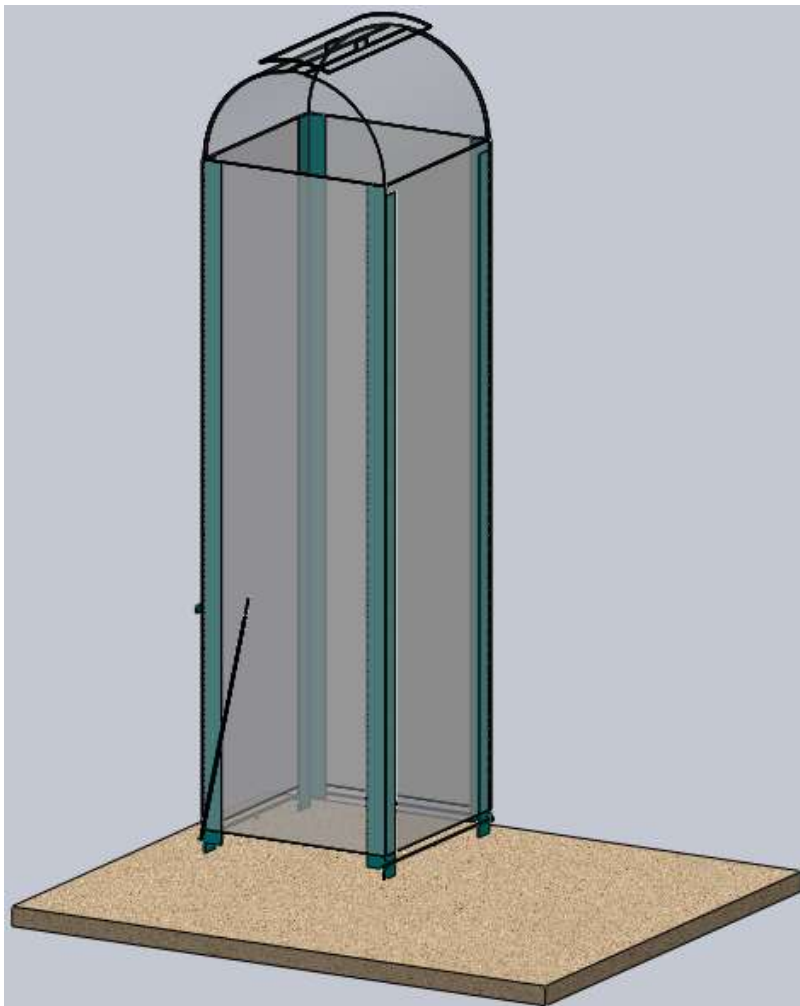
*Software* COMSOL Multiphysics. As simulações têm o objetivo de calcular o campo de temperatura para definidas condições iniciais, cálculo este realizado através da aplicação do método iterativo, conhecido como método dos elementos finitos.

### 3. Geometria e Mecanismo

O modelo proposto é uma estufa especial, disposta verticalmente, como mostrada na figura 1, e que se encontra em processo de patenteamento, uma vez que se trata de uma nova tecnologia para a secagem de grãos.

Os materiais para a garantia do efeito estufa foram: acrílico (para o teto), filme de polietileno (para envolver o corpo da estufa) e aço galvanizado (para a estrutura da torre).

Figura1: Estrutura do secador

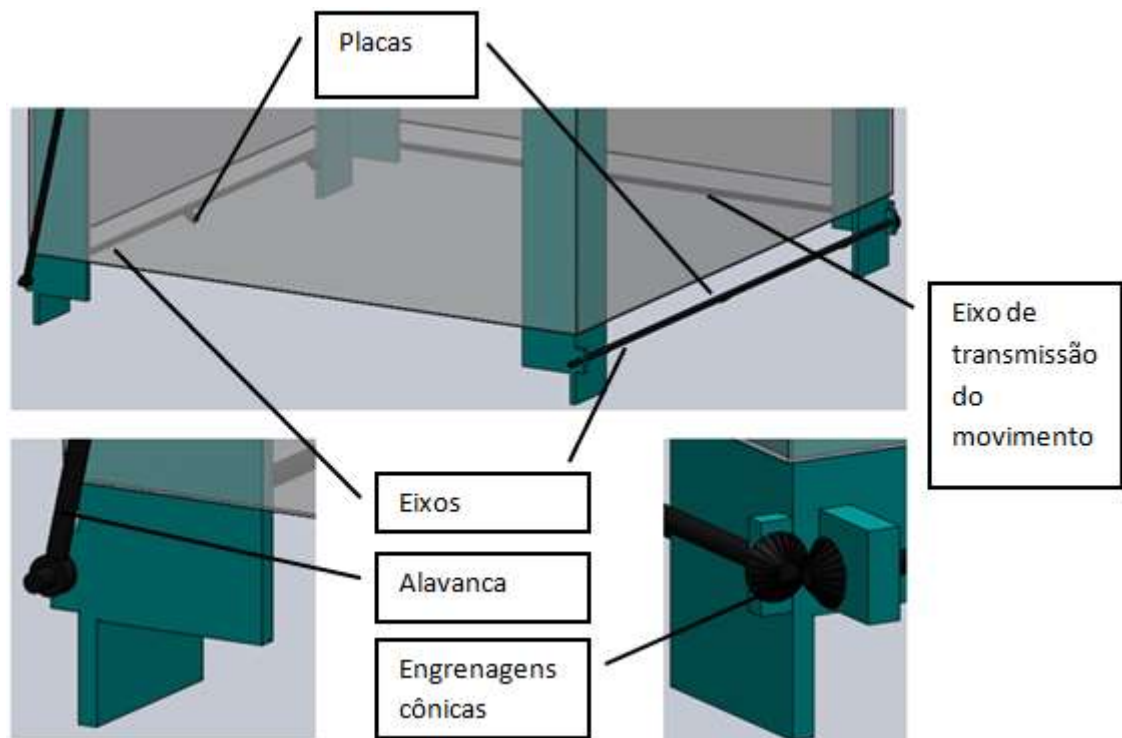


Fonte: Autoria própria (2014)

A estufa será preenchida com bandejas contendo amêndoas de cacau, e na sua parte inferior existe um sistema que permite o fluxo destas bandejas de cima para baixo,

composto por uma alavanca, dois eixos laterais rotativos com uma placa soldada em cada um deles, e um outro eixo para a transmissão do movimento, localizado na parte traseira da torre, promovendo à sincronização do movimento em ambas as placas. A figura 2 nos mostra o sistema.

Figura 2: Principais elementos do mecanismo de fluxo de bandejas



Fonte: Autoria própria (2014)

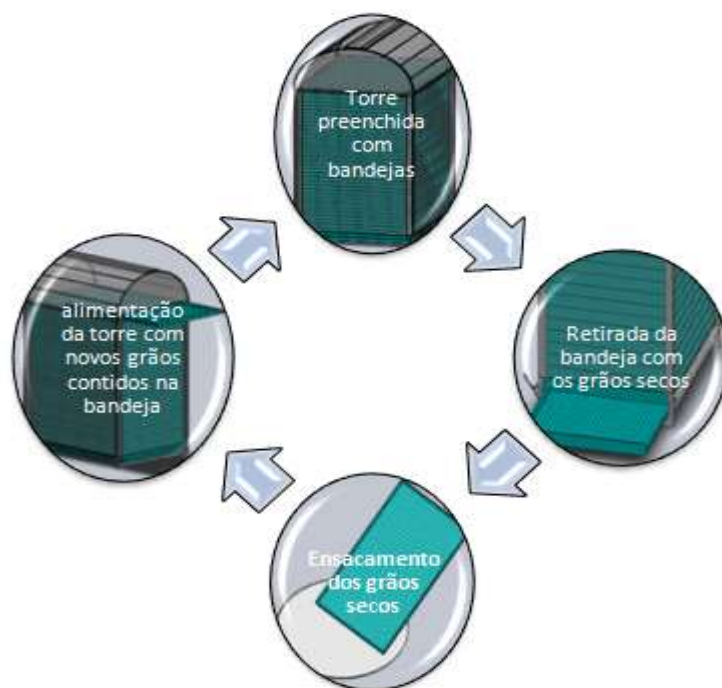
Quando uma força é aplicada na alavanca (da direita para esquerda), as placas soldadas nos eixos laterais giram no sentido anti-horário, aplicando-se uma força no sentido inverso as placas giram no sentido horário, e ambas as placas movimentam-se em sincronia, ou seja, giram simultaneamente devido à contribuição do eixo de transmissão de movimento contendo duas engrenagens tipo cônica.

A ideia é que inicialmente a torre esteja preenchida completamente com as bandejas, estando somente a primeira (sentido de cima para baixo) preenchida com os grãos a serem secos, e o restante das bandejas vazias. Então, uma força humana é aplicada na alavanca, levantando, assim, as bandejas, da penúltima até a primeira, permitindo que a última bandeja seja retirada. Este processo é realizado de tempo em tempo permitindo o fluxo das bandejas de cima para baixo. Este mecanismo permite que a primeira bandeja que contém os grãos ainda úmidos, desça paulatinamente até o nível mais baixo do secador para então

ser retirada deste, e isto proporciona um resfriamento adequado dos grãos ao longo do caminho, bem como o ganho de umidade adequado para posteriormente se fazer o ensacamento.

Esta bandeja vazia (retirada do secador) alimentará a torre através de uma abertura na parte superior traseira presente na cobertura, e então depois de um tempo o mecanismo voltará a se repetir. A figura 3 mostra o resumo do ciclo realizado pelo produto proposto.

Figura 3: Resumo do ciclo



Fonte: Autoria própria (2014)

## 4. Simulações

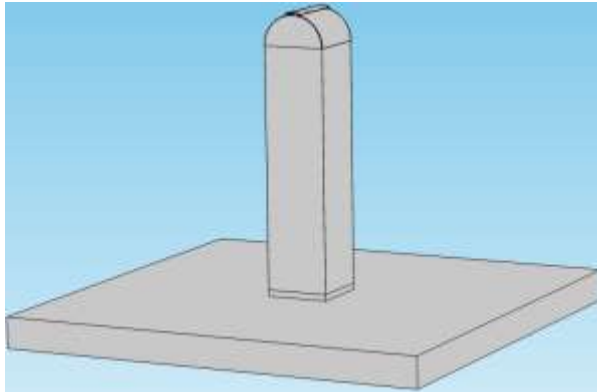
### 4.1. Simulação da barcaça

Partindo da geometria proposta, procurou-se realizar simulações para a verificação do campo de temperatura presente na mesma em função das condições iniciais, desprezando o sistema de fluxo de bandejas, reduzindo a torre a uma estufa propriamente dita. O *software* COMSOL Multiphysics foi utilizado nesta etapa, resolvendo as equações diferenciais parciais relacionadas ao sistema, aplicando o método dos elementos finitos para o estudo físico.

Com base na equivalência em grãos para secagem das estufas tradicionais, a geometria

proposta para a simulação (estufa apoiada sobre um bloco de areia) foi criada no próprio *software* tendo comprimento, largura e altura de, respectivamente 1m, 1m e 4m. A geometria pode ser visualizada na figura 4.

Figura 4: Geometria Simplificada da Torre

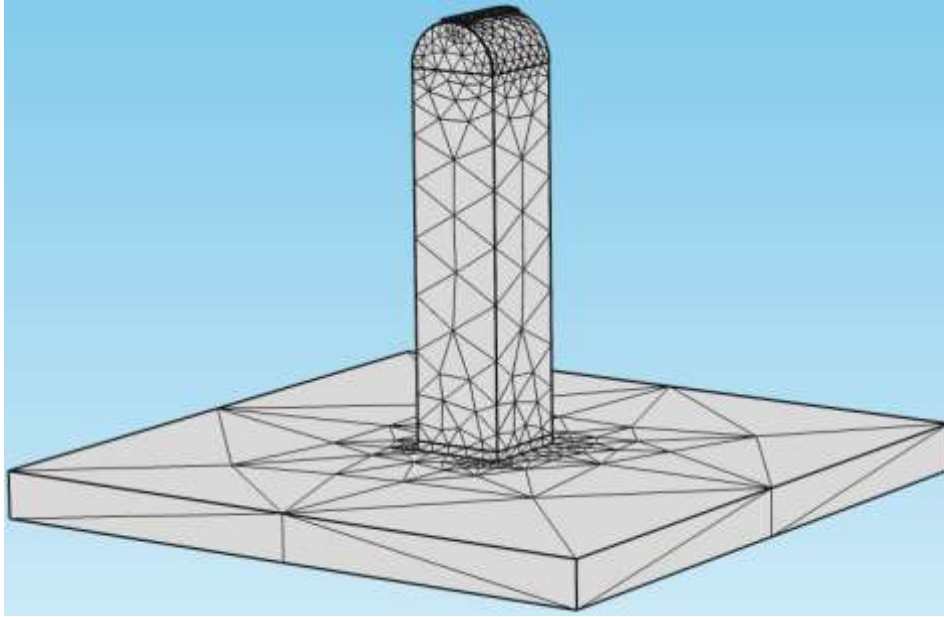


Fonte: Autoria própria (2014)

Com a geometria pronta e a posterior definição do sistema físico relacionado, bem como a criação da malha (discretização do domínio), como mostrado na figura 5, foram obtidos os resultados das simulações. Houve a necessidade de engrossar a malha em alguns domínios devido a limitações de recursos computacionais.

O sistema definido foi posto a uma temperatura que varia ao longo do dia, de acordo com a equação (1), recebendo uma energia radiativa ligada a uma constante solar equivalente a  $1000 \text{ W/m}^2$  em regime transiente. A temperatura às 10: 00 h é praticamente a mesma em toda a geometria; no caso, igual a  $28^\circ\text{C}$ . Os resultados estão apresentados nas figuras de 6 a 9 e representam a distribuição de temperatura nos horários 13: 00 h e 16: 00 h, respectivamente.

Figura 5: Discretização do domínio



Fonte: Autoria própria (2014)

$$y = 27 + 3 \cos\left(\frac{2\pi(x-14)}{24}\right) \quad (1)$$

Foram também consideradas informações a respeito da cidade de Ilhéus, no que se diz respeito a sua localização, quais sejam: latitude 14,789 Sul, longitude 39,0494 e fuso horário -3 horas. O dia considerado foi 26 de junho de 2013. Com estas informações, o *software* utilizado calcula a posição solar, considerando a temperatura ambiente definida na equação (1), fornecendo assim o campo de temperatura desejado.

Este sistema considera fenômenos de condução, convecção e radiação, simultaneamente, os quais estão representados pelas Equações 2 e 3.

$$\nabla(-k.\nabla T) = 0 \quad (2)$$

em que  $T$  = campo de temperatura e  $k$  = condutividade térmica.

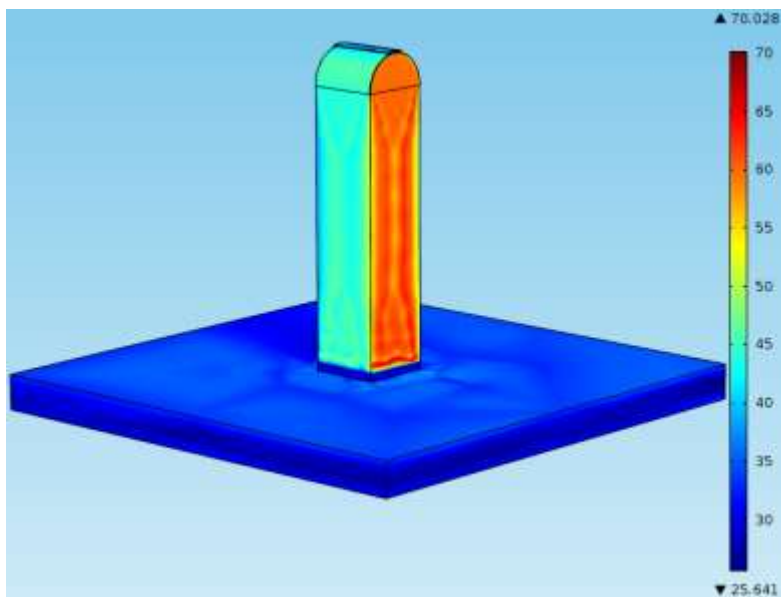
$$\rho.Cp.\frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k.\nabla T) = Q \quad (3)$$

sendo  $\rho$  a densidade,  $Cp$  a capacidade térmica,  $Q$  a fonte térmica,  $T$  o campo de temperatura,  $k$  a condutividade térmica e  $t$  o tempo.

Quanto à irradiação, a lei de Stefan-Boltzmann foi utilizada no auxílio à modelagem do sistema.

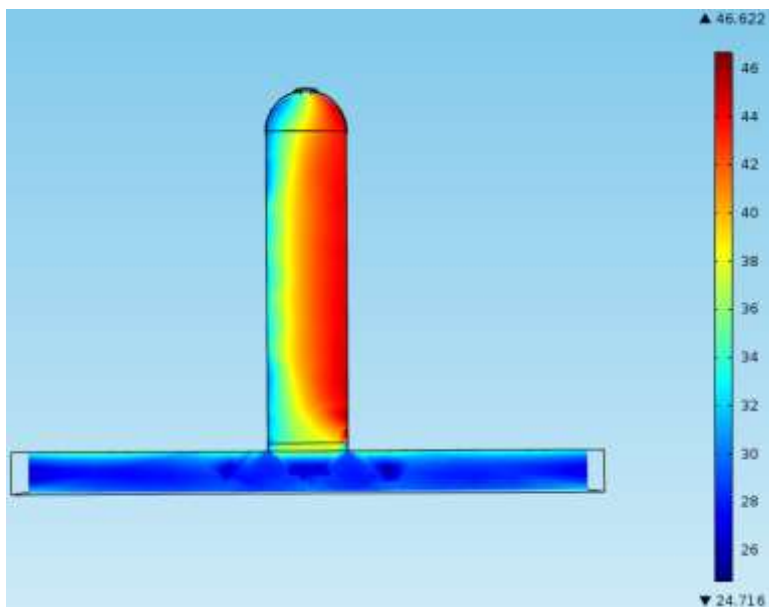


Figura 6: Distribuição de temperatura às 13: 00 h



Fonte: Aatoria própria (2014)

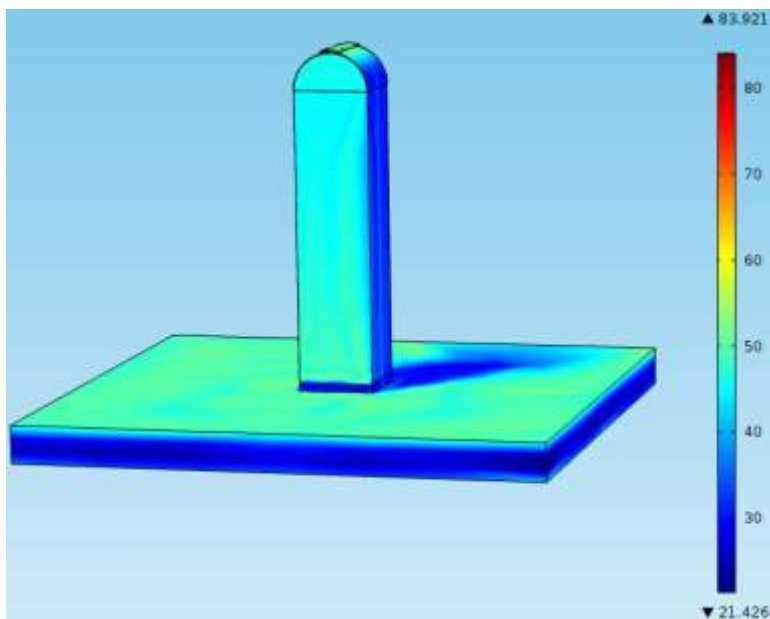
Figura 7: Corte Longitudinal às 13: 00 h



Fonte: Aatoria própria (2014)

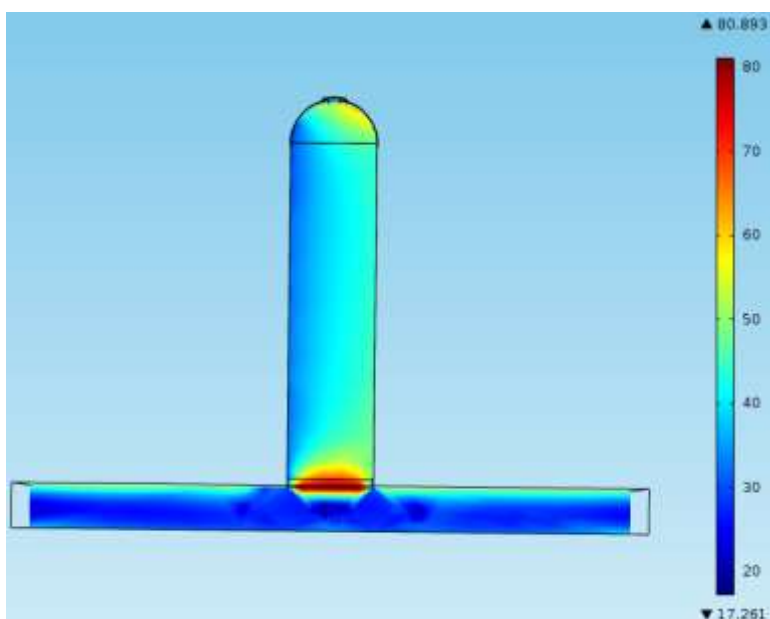


Figura 8: Distribuição de temperatura às 16: 00 h



Fonte: Autorial própria (2014)

Figura 9: Corte Longitudinal às 16: 00 h



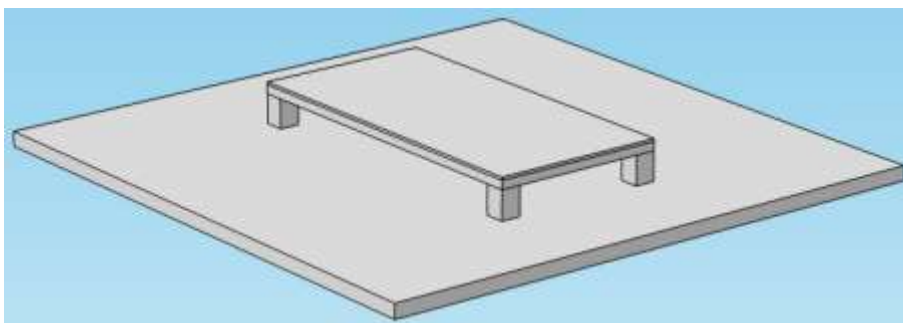
Fonte: Autorial própria (2014)

A simulação mostra resultados referentes ao campo de temperatura presente no interior da torre. Pode-se verificar também os resultados dos cálculos referentes ao fator de forma, tornando explícitos os efeitos de sombreamento no sistema.

## 4.2. Simulação da Barcaça

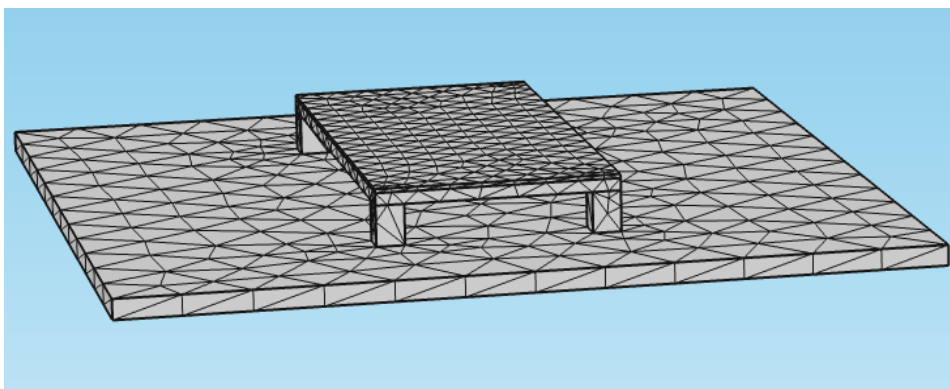
Para se realizar estudos comparativos, foi necessário submeter uma barcaça às mesmas condições físicas encontradas na torre. Sendo assim, foi criada a geometria do sistema (barcaça apoiada sobre um bloco de areia), foi feita a discretização do domínio obtendo-se, assim, os campos de temperatura ilustrados nas figuras 12 e 13.

Figura 10: Geometria da barcaça



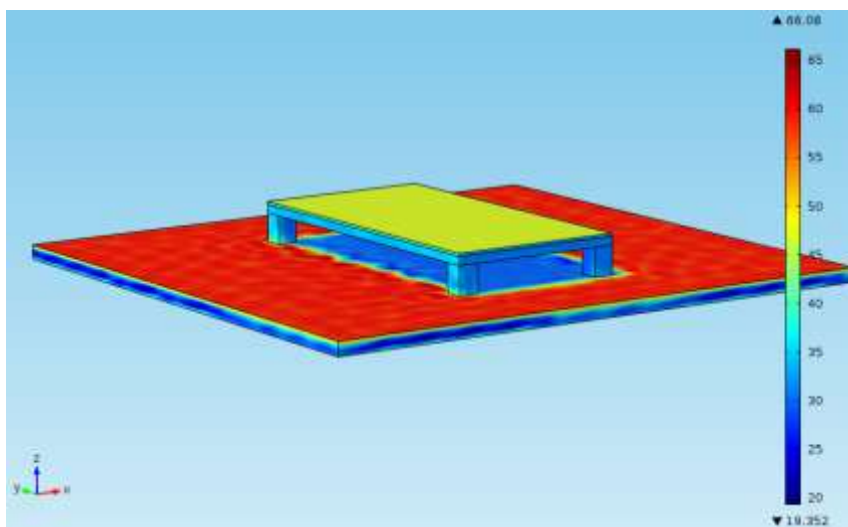
Fonte: Autoria própria (2014)

Figura 11: Malha de cálculo criada



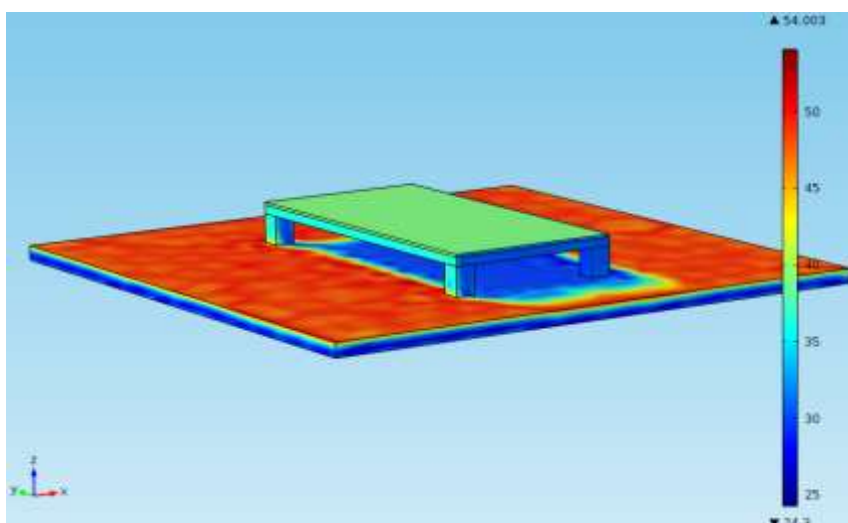
Fonte: Autoria própria (2014)

Figura 12: Distribuição de temperatura às 13: 00 h



Fonte: Autoria própria (2014)

Figura 13: Distribuição de temperatura às 16: 00 h



Fonte: Autoria própria (2014)

Observando as figuras 12 e 13, verifica-se que há queda no campo de temperatura, devido à perda de calor da barcaça em função do efeito da convecção. Já na estufa, verifica-se que a mesma atinge uma temperatura maior, devido ao contato menor que o ar interno a ela tem com o ar externo, bem como a ocorrência do próprio efeito estufa em si.

## 5. Conclusão

O secador vertical proporciona vantagens, tais como a redução da área necessária para a secagem, não requerer energia elétrica (para ventilação forçada), nem queima de lenha para a secagem, mas usando somente energia solar, que incide sobre suas paredes e teto. Outra

vantagem é a eliminação das condições insalubres do trabalho do operador de manejo dos grãos a céu aberto, pois as temperaturas geralmente são elevadas em estufas, sob raios ultravioletas, podendo atingir mais de 40°C, sem ventilação. No modelo proposto, o espalhamento dos grãos em bandejas é feito mecanicamente, em local abrigado, o revolvimento dos grãos é desnecessário, pois é depositada apenas uma camada de grãos em cada bandeja, e a recolha é feita por gravidade.

A ferramenta de CAD foi fundamental nesta fase de desenvolvimento do projeto, para a definição do mecanismo que gera o movimento das bandejas e a geometria do secador vertical. Simulações mais realistas são pretendidas para dar continuidade ao trabalho, para assim oferecer um modelo mais confiável, onde se possa fazer análises mais profundas a respeito do sistema.

Estudos envolvendo simulações com troca de calor são recomendados para verificar quantitativamente as melhores dimensões para este secador, bem como a obtenção de dados que expliquem como se comportam as correntes de convecção dentro do secador, pois este tipo de transferência de calor é fundamental para garantir a homogeneidade dos grãos secos e otimização de custos (SANTOS *et al*, 2012).

## 6. Referências Bibliográficas

- MARTINS, RENATA. DOSSIÊ TÉCNICO: **Processamento de chocolate. REDETEC** – Rede de tecnologia do Rio de Janeiro, 2007.
- MOTTA, G. D. **A Engenharia Virtual é Realidade**. Revista CADWARE, nº5, 1997.
- NEIVA, SANDRO. **O CACAU hoje no Brasil. Pervitin Filmes, 2010**. Disponível em: <http://pervitinfilmes.blogspot.com.br/2010/01/o-cacau-hoje-no-brasil.html>.
- SANTOS, E.C.; PEREIRA, D. S.; NOBRE, G.W.L.; SALES, J.H.O.; **Simulação computacional para um Secador de Cacau Vertical**. 18º Seminário de Iniciação Científica da UESC, 2012.

Recebido: 24/04/2014

Aprovado: 30/07/2014