



MAXIMIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR PARA SECAGEM DE GRÃOS EM UM SECADOR VERTICAL: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL À SECAGEM TRADICIONAL

Geovana Pires Araujo Lima (UESC) -geovanapires1907@htomail.com

Virnna Santana Barbosa (UESC) -virnnac@gmail.com

Everton Costa Santos (UESC) -ecsantos@uesc.br

Jorge Henrique de Oliveira Sales(UESC) -jhsnpt@gmail.com

Resumo:

Este trabalho propõe uma nova tecnologia para secagem de grãos utilizando energia solar. Trata-se de uma estufa disposta verticalmente, preenchida por bandejas sobrepostas ao longo da sua altura, bandejas estas contendo a princípio uma camada de amêndoas frescas. A ideia de funcionamento é que se alimente este produto por sua parte superior com as amêndoas ainda frescas, e de tempo em tempo através de um mecanismo de fluxo de bandejas de cima para baixo, se retire da parte inferior desta torre as bandejas contendo as amêndoas secas, já que estamos falando de uma estufa. Com a utilização das tecnologias CAD/CAE, é obtida a geometria, discretização do domínio e simulações através do método dos elementos finitos para avaliação dos efeitos térmicos tanto da barcaça quanto da torre proposta, ambas utilizadas para a secagem de amêndoas de cacau. Os efeitos de convecção tem expressiva importância na qualidade de secagem, e com isso foi calculado o campo de velocidade esperado no interior do produto em questão. Esta estufa verticalizada mostra significativos benefícios em relação à barcaça, proporcionando uma redução drástica da área necessária para secagem de amêndoas e melhores condições de trabalho. As simulações mostram também uma melhor eficiência de secagem, uma vez que a torre consegue manter por mais tempo o calor em seu interior (entre 11h e 13h), atingindo ainda temperaturas próximas de 50oC, contra 36oC atingidos na barcaça, considerando um mesmo intervalo de tempo de simulação e semelhantes condições iniciais e de contorno.





Palavras Chave:

Tecnologias Cad/Cae, Energia Solar, Estufa verticalizada.

1. Introdução

Esse estudo propõe uma análise de um produto tradicionalmente utilizado na secagem de cacau e uma possível substituição com base na patente "Sol-Ar BR102012029537-7" e na patente "Fogão solar alternativo por reflexão de raios solares BR102012029555-5"(Sales, Santos). As técnicas desenvolvidas para estas patentes foram úteis no desenvolvimento do modelo geométrico simulado computacionalmente para a otimização de secagem de grãos. A comparação entre o produto tradicional e uma nova alternativa à secagem tradicional à cultura cacauíera do sul da Bahia é a proposta desse trabalho.

A cultura do cacau tem passado 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. Mesmo assim esta cultura se caracteriza como uma importante atividade no sul da Bahia, tornando este estado um dos maiores produtores do país (SALES et al., 2014b).

O cacau oferece uma variedade expressiva de subprodutos e resíduos do cacau, pois menos de 8% do peso do fruto do cacauíeiro, em estado normal de maturação, é usado pela indústria beneficiadora, valendo destacar que um fruto com peso médio de 500 g, é constituído de 80% da casca do fruto e 20% de semente (PIRES et al., 2005). As amêndoas de cacau são secas e destinadas às indústrias processadoras que geram produtos como o liquor (chocolate amargo) e a manteiga de cacau (gordura). Já para a produção de chocolate alguns processos anteriores são necessários, e a não padronização na execução das atividades iniciais pode resultar em um chocolate com qualidade abaixo da esperada. (EFRAIM et al., 2010 apud BECKETT, 1994).





O sistema tradicional de secagem é a Barçaça, são construções típicas constituídas por um lastro de madeira erguido sobre pilares de alvenaria e uma cobertura que desliza sobre trilhos. A cobertura, geralmente feita de chapas de alumínio corrugado ou de zinco, é afastada para expor as amêndoas ao sol e, quando fechada, protege contra chuva, sereno e calor excessivo. As amêndoas são espalhadas sobre o lastro da barçaça em uma camada uniforme com cerca de 5 cm de espessura. O revolvimento constante é feito com um rodo de madeira, principalmente no início da secagem, a fim de evitar aglomerados (OETTERER et al., 2006).

As barçaças ocupam uma área bastante expressiva para se obter uma produção lucrativa, sendo assim, propõe-se neste trabalho uma tecnologia alternativa para a secagem de grãos, em especial secagem de amêndoas de cacau, que resolva o problema supracitado bem como garantir satisfatória eficiência de secagem. O secador proposto trata-se de uma estufa verticalizada, composta por uma estrutura de aço carbono envolvida pelo chamado plástico agrícola, plástico especial que apresenta a característica de ser opaco para a radiação infravermelha em longos comprimentos de ondas (calor) e ser transparente para radiações mais energéticas (em curtos comprimentos de onda). Assim como no trabalho de Costa et al. (2004), o polietileno foi utilizado como material para representar o plástico agrícola. Este secador deve ser preenchido por bandejas sobrepostas, cada uma contendo uma camada de amêndoas frescas de cacau, além de dispor de um sistema que torna possível um fluxo destas bandejas de cima para baixo. Este fluxo é possível devido a constante retirada das bandejas contendo amêndoas secas pela parte inferior do secador e a alimentação deste, a partir de uma abertura contida em sua parte superior, com bandejas contendo amêndoas frescas (SANTOS et al., 2013)

2. Metodologia

Foram feitas diversas simulações no secador vertical, a fim de que a grandeza física de transferência de calor, que é a energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura fosse analisada (grandeza primordial para a secagem de cacau). Esse estudo





foi feito com o auxílio da ferramenta computacional COMSOL, o mesmo foi usado para as simulações dos efeitos do calor sobre as estruturas do secador de grãos, além de simular os efeitos de um fluido aquecido, como ar, pelas paredes do secador. A umidade poderá ser testada nesse programa.

3. Resultados e discussões

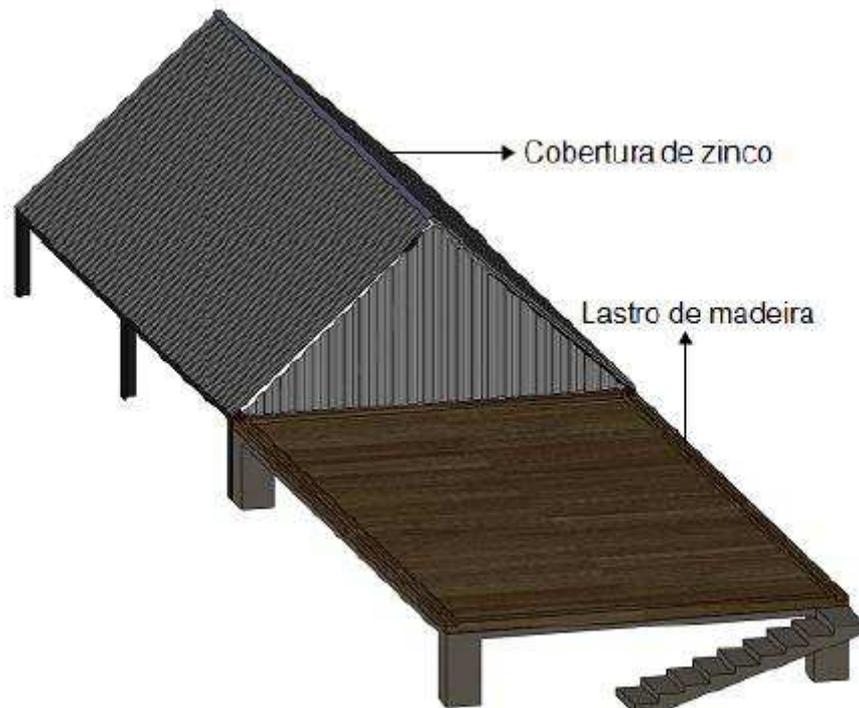
3.1 Sistema tradicional de secagem

Esta seção apresentará as funcionalidades e a definição geométrica de uma barcaça típica a partir do uso de ferramenta de CAD/CAE, a discretização dos domínios relacionados, bem como a realização das simulações para a estimativa do campo de temperatura no sistema através do Método dos Elementos Finitos.

Após a etapa de fermentação das amêndoas as mesmas são secas devido à exposição à radiação solar, e as barcaças estão incluídas entre os mais tradicionais equipamentos destinados a esta etapa. A estrutura possui lastro de madeira (que pode ser Páparaíba, Pequi amarelo, Pau d'arco dentre outras) onde as amêndoas são acondicionadas, e a cobertura móvel de zinco. Nos horários de sol forte (das 10h às 14h) a cobertura deve ser fechada para que o cacau fique na sombra, possibilitando uma secagem mais prolongada e eficiente (FERREIRA et al., 2013). A Fig.1 mostra detalhes de uma barcaça típica.



Figura 1 – Barcaça tradicional



Fonte: Autoria própria

A mobilidade da cobertura de zinco também é importante em dias chuvosos, protegendo as amêndoas e garantindo a manutenção da produção. Este deslocamento é possível graças aos trilhos nas laterais da barcaça bem como a própria extensão da mesma como mostra a Fig.2.

Figura 2 - Componentes da barçaça que proporcionam o deslocamento da cobertura de zinco



Fonte: autoria própria

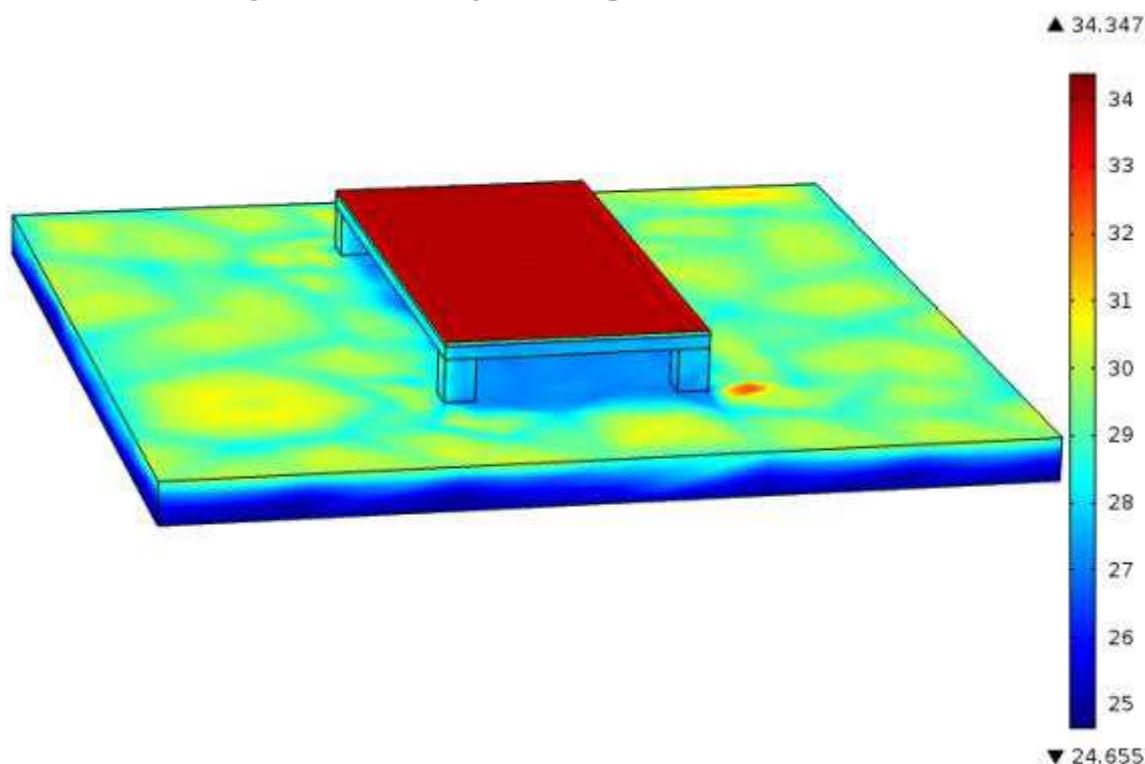
As barçaças podem ter dimensões de 3m x 6m, 8m x 8m ou 6m x 12m, sua altura do solo pode ser de 1m, e seu revolvimento é realizado com rodo de madeira, afim de promover a secagem homogênea e evitar a aglomeração das amêndoas. Na barçaça o cacau é espalhado em camadas de 3 a 6 mm de espessura, a depender do fluxo da colheita e condições climáticas. Isto equivale a uma carga que varia de 25kg a 40kg de cacau úmido por metro quadrado (BEGIATO et al., 2009).

3.2 Plotagem do campo de temperatura da barçaça

Esta seção consiste nas plotagens dos campos de temperatura gerado pelo sistema nos períodos de interesse. Estes resultados são fundamentais no sentido de permitir a comparação das respostas térmicas entre os dois produtos simulados (torre e barçaça) submetidos à semelhantes condições físicas.

Definidas as condições iniciais e de contorno para a barça, como visto anteriormente, foram calculados numericamente os campos de temperatura às 10 horas, ao meio-dia e às 14 horas, com tolerância absoluta de 10^{-3} como mostram as Fig.3, 4 e 5.

Figura 3 - Distribuição de temperatura às 10h



Fonte: autoria própria

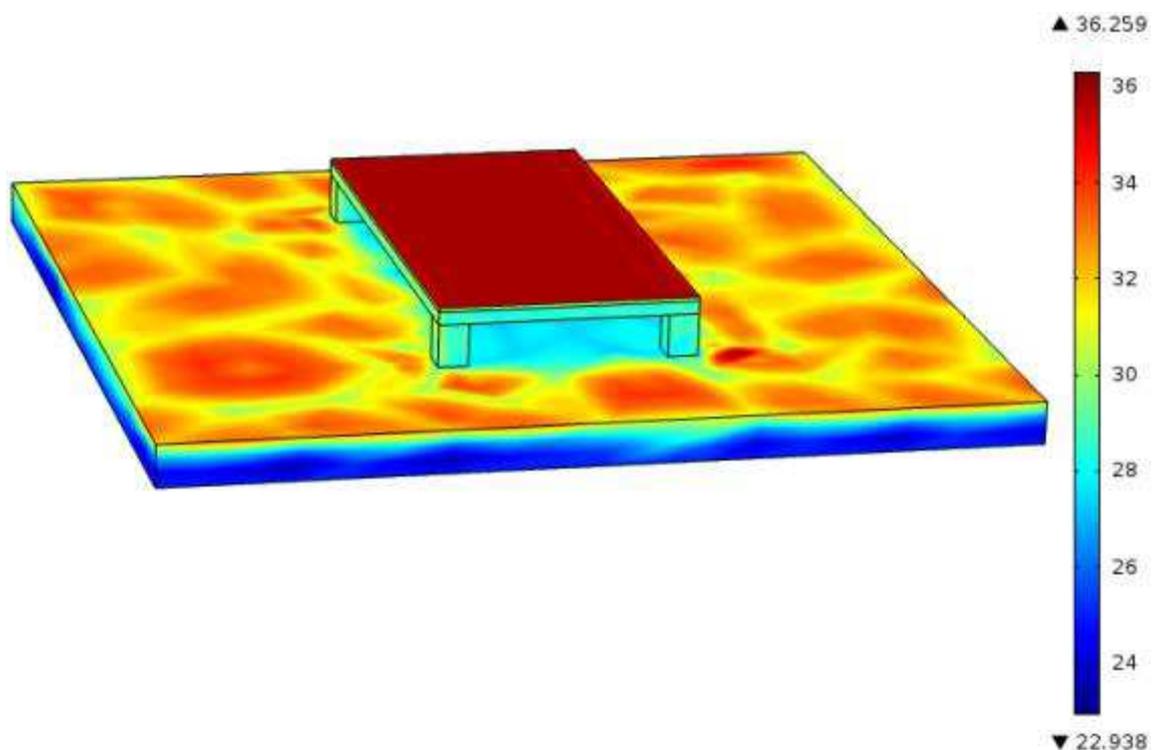
A Fig.3 mostra o campo de temperatura obtido pela barça às 10h da manhã. Nela podemos verificar que um pico de temperatura de 34°C é atingido na região onde as amêndoas são espalhadas, mostrando que o material equivalente retém uma maior quantidade de energia em relação ao concreto.

A madeira de pinheiro apresenta uma capacidade térmica maior, como esta propriedade física se relaciona de forma inversamente proporcional à variação de temperatura, podemos verificar a coerência do resultado que mostra que a madeira consegue reter mais energia em relação ao concreto.

O fato da madeira de pinheiro está exposta a irradiação solar também intensifica o campo de temperatura e podemos perceber a queda da mesma na parte oposta à superfície referida, mostrando ainda os efeitos de sombreamentos na plotagem.

O campo de temperatura obtido ao meio-dia apresenta um significativo aumento em relação ao campo obtido às 10h na face cujo material é a madeira de pinheiro, chegando a um pico de 36°C, como mostra a Fig.9, uma diferença de aproximadamente 2°C.

Figura 4 - Distribuição de temperatura às 12h



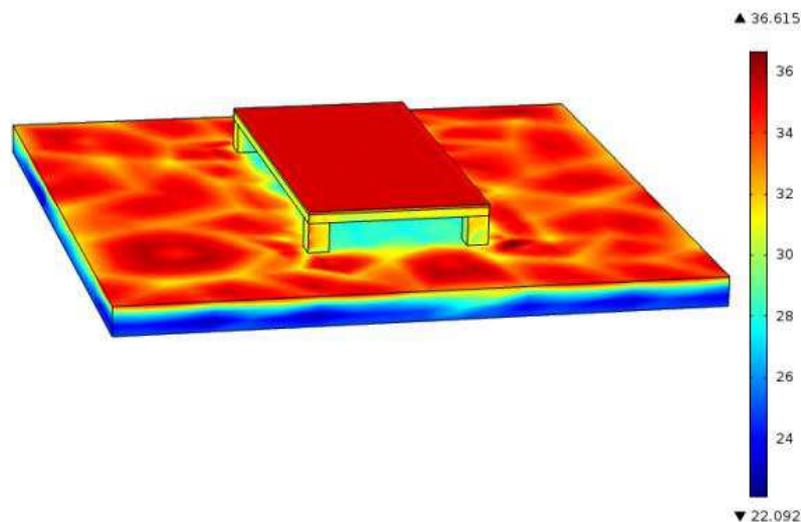
Fonte: autoria própria

O campo de temperatura apresentado na Fig.4 apresenta as mesmas características do apresentado na Fig.3, no que se diz respeito à exposição a radiação solar e às diferenças de capacidade térmica, porém percebemos nesta simulação temperaturas maiores no sistema, bem como uma distribuição de temperatura mais uniforme no bloco de concreto no qual a barçaça é acondicionada.

A Fig.5 mostra uma variação praticamente insignificante nos picos de temperatura de 12h para às 14h, onde verifica-se uma uniformização da temperatura ao longo dos domínios ainda melhor em relação à plotagem da Fig.4.

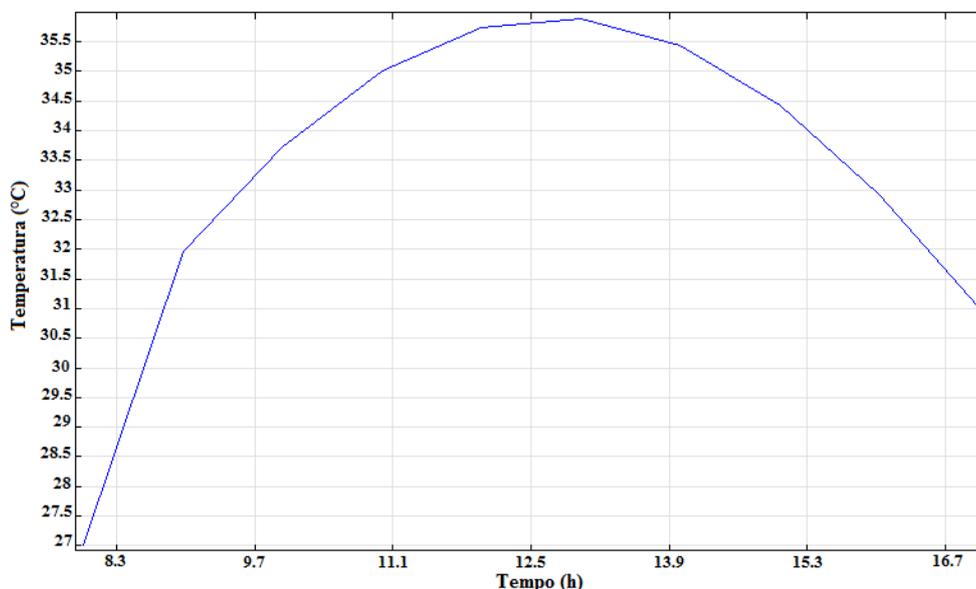
Este resultado mostra uma tendência de queda de temperatura, ou seja, percebe-se que o sistema atinge máximas temperaturas, cerca de 36°C, aproximadamente entre 12 e 14 horas. A Fig.6 nos mostra de forma gráfica a queda de temperatura, no ponto central da barcaça, a partir de aproximadamente 12h, com um pico próximo de 36°C.

Figura 5 - Distribuição de temperatura às 14h



Fonte: autoria própria

Figura 6 - Variação da temperatura com o tempo no ponto central da barçaça



Fonte: autoria própria

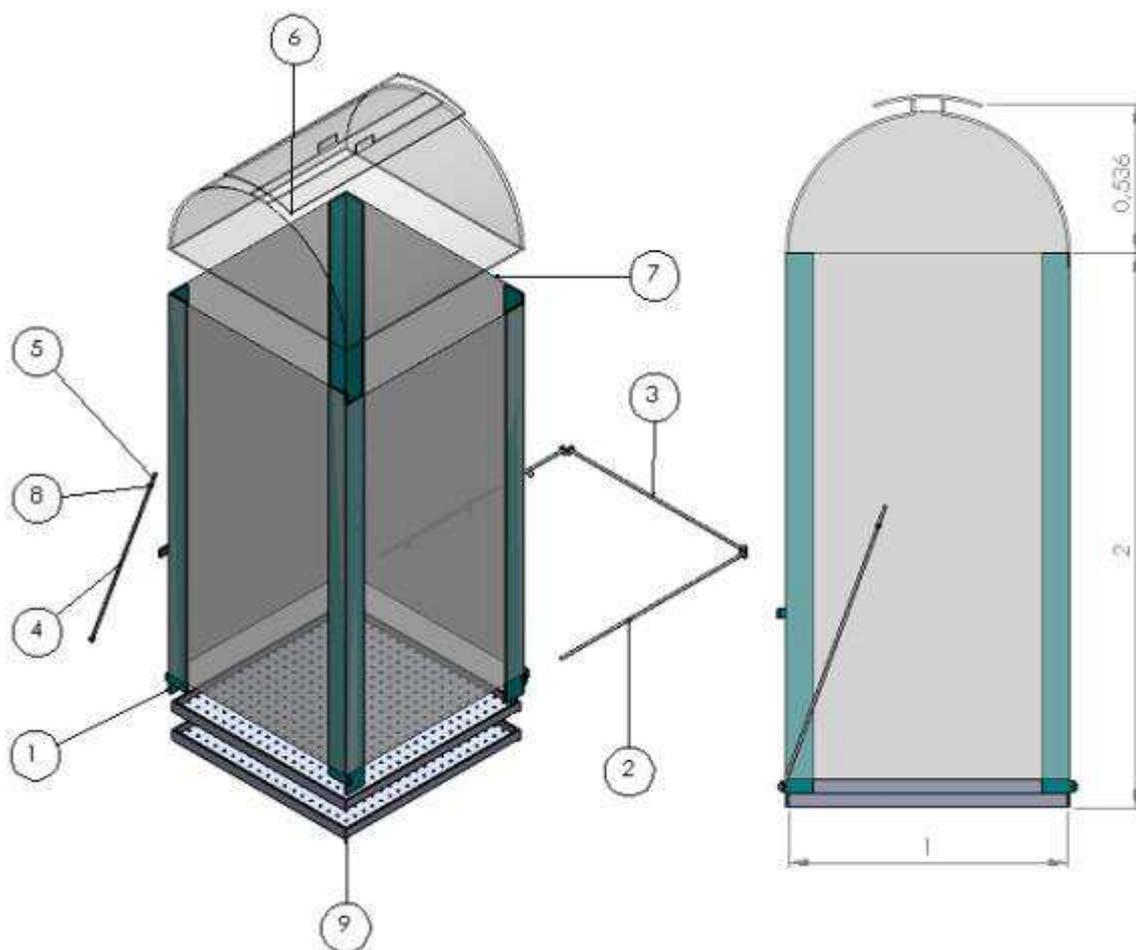
3.3 Secador de grãos vertical

Esta seção apresentará a definição geométrica do secador proposto, bem como seus subsistemas a partir do uso de ferramenta de CAD/CAE. Com a mesma foi possível discretizar o domínio relacionado, bem como realizar as simulações para a estimativa do campo de temperatura no sistema. A abordagem que será dada ao produto neste capítulo não abrangerá aprofundados estudos mecânicos ligados a análise numérica de tensões ou deformações, mas sim a estrutura do mesmo, seu princípio de funcionamento e a resposta térmica que este pode atingir quando submetido a determinadas condições físicas.

O modelo proposto é uma estufa especial disposta verticalmente, como mostram as Fig.7 e 8 em escala 1:20 com as dimensões em metros, e se encontra em processo de patente cujo número de postagem é SK 101014998 BR. A Fig.7 em especial, mostra a

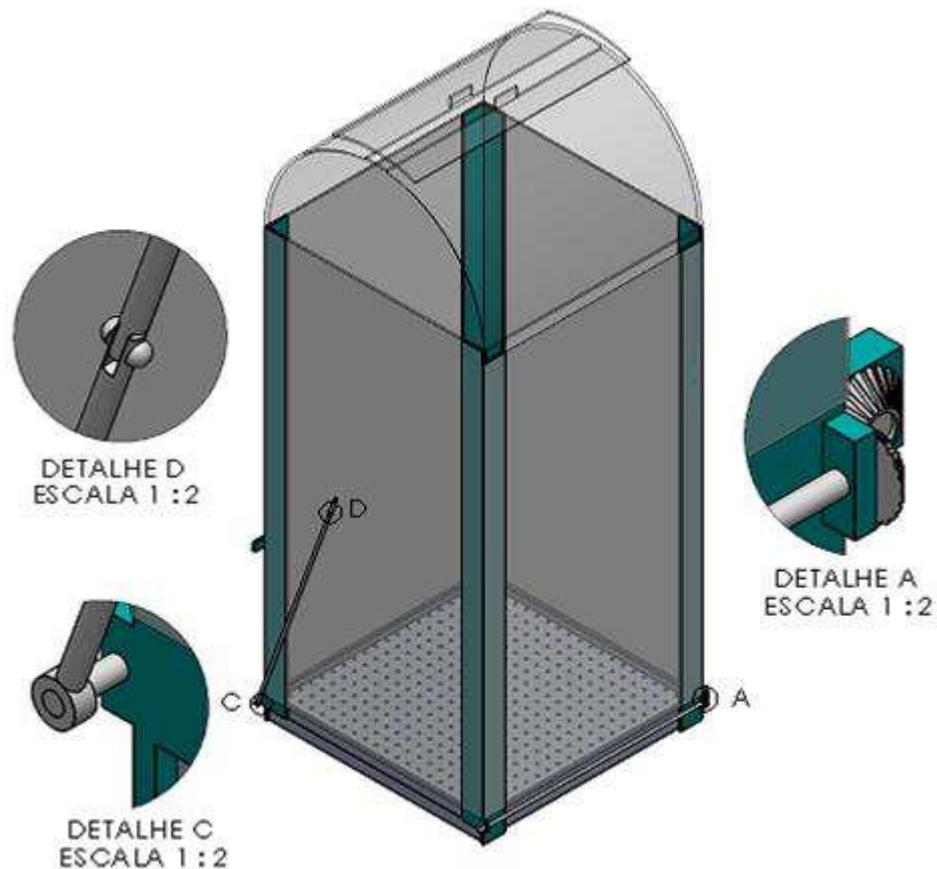
estrutura da torre da forma que foi concebida, em sua vista explodida, identificando a posição de cada elementos que faz parte da torre.

Figura 7 - Estrutura do secador de grãos vertical em vista explodida



Fonte: autoria própria

Figura 8 - Detalhes do secador



Fonte: autoria própria

Para a realização das posteriores simulações referente à estufa proposta considerou-se os materiais do quadro 1 com suas respectivas propriedades:

Quadro 1 - Propriedades dos materiais para a simulação da torre.

Propriedades	Polietileno	Concreto	Alumínio
Capacidade térmica [$J/(kg.K)$].	1900	900	900
Densidade [kg/m^3].	930	2300	2700
Condutividade térmica [$W/(m.K)$].	0,38	1,8	160
Emissividade.	0,5	0,95	0,05

Fonte: autoria própria



As propriedades do material "Ar" variam de acordo com a mudança de outras variáveis, como pressão e temperatura.

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, duas barras laterais rotativas, e uma outra barra na parte traseira da torre para proporcionar a sincronização do movimento.

A alavanca é presa em uma das barras laterais da torre, como mostra a Fig.8 detalhe C, e quando é aberta estas barras giram nos sentidos horário ou anti-horário e em sincronia devido à contribuição do eixo de transmissão de movimento que contém duas engrenagens tipo cônica em suas extremidades.

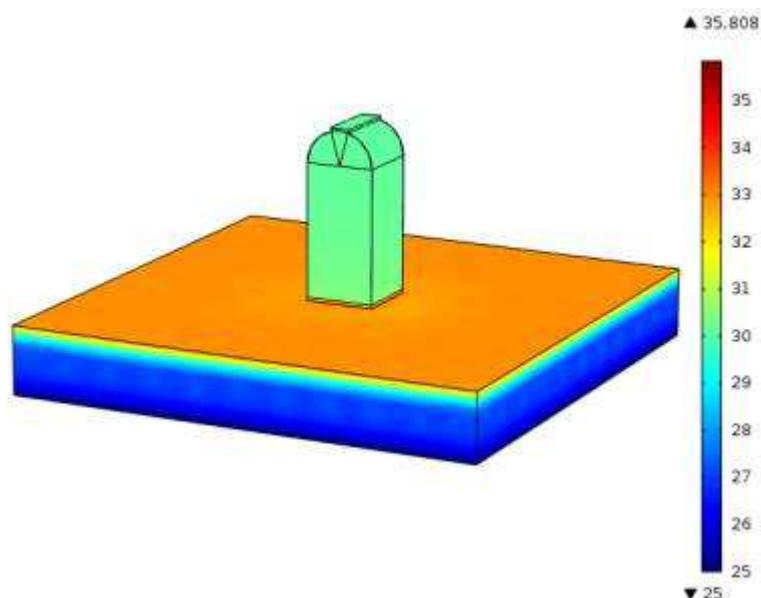
3.4 Plotagem do campo de temperatura do secador de grãos vertical

Partindo da geometria proposta procurou-se realizar simulações considerando a estufa sem as bandejas e com as bandejas para a verificação dos campos de temperatura obtidos na mesma em função das condições iniciais, desprezando o sistema de fluxo de bandejas.

A Fig. 11 mostra que a torre apresenta em predominância temperaturas próximas a temperatura ambiente, a estrutura em si não apresenta ganhos significativos de temperatura e podemos verificar este fato ao observarmos a Fig.12 que ilustra o gráfico da variação de temperatura ambiente com o tempo.



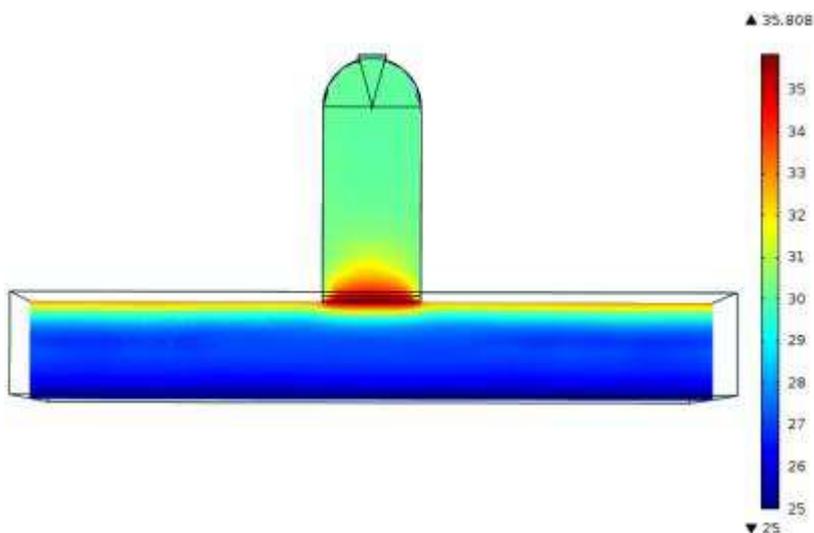
Figura 11 - Distribuição de temperatura da torre sem as bandejas às 14h



Fonte: autoria própria

A Fig.12 ilustra um corte longitudinal da torre na ausência de bandejas, mostrando que as temperaturas atinge um pico de 35°C na base da torre. Esta temperatura é mais acentuada nesta região devido à emissividade do bloco de concreto que sustenta a torre.

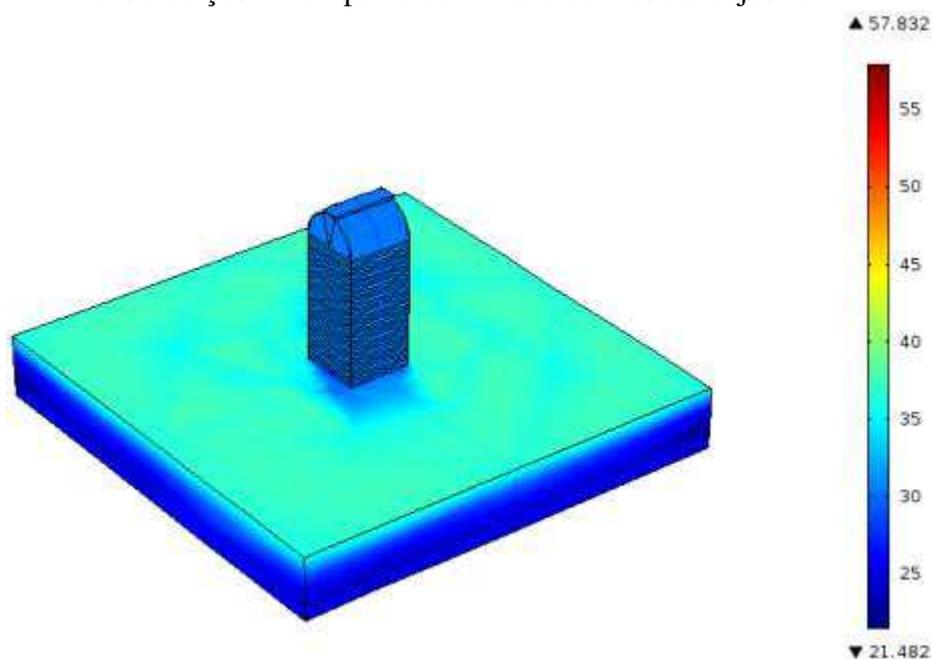
Figura 12 - Corte longitudinal da torre sem as bandejas às 14h.



Fonte: autoria própria

A Fig.14 apresenta o principal avanço deste trabalho que consistiu na verificação da resposta térmica da torre com a mesma contendo as 40 bandejas de acordo com o projeto inicial. Observa-se altas temperaturas, pico de 55°C às 14h, e toda a superfície exposta a temperaturas próximas de 35°C devido o resfriamento causado pelas forças dos ventos.

Figura 14 - Distribuição de temperatura da torre com as bandejas às 14h



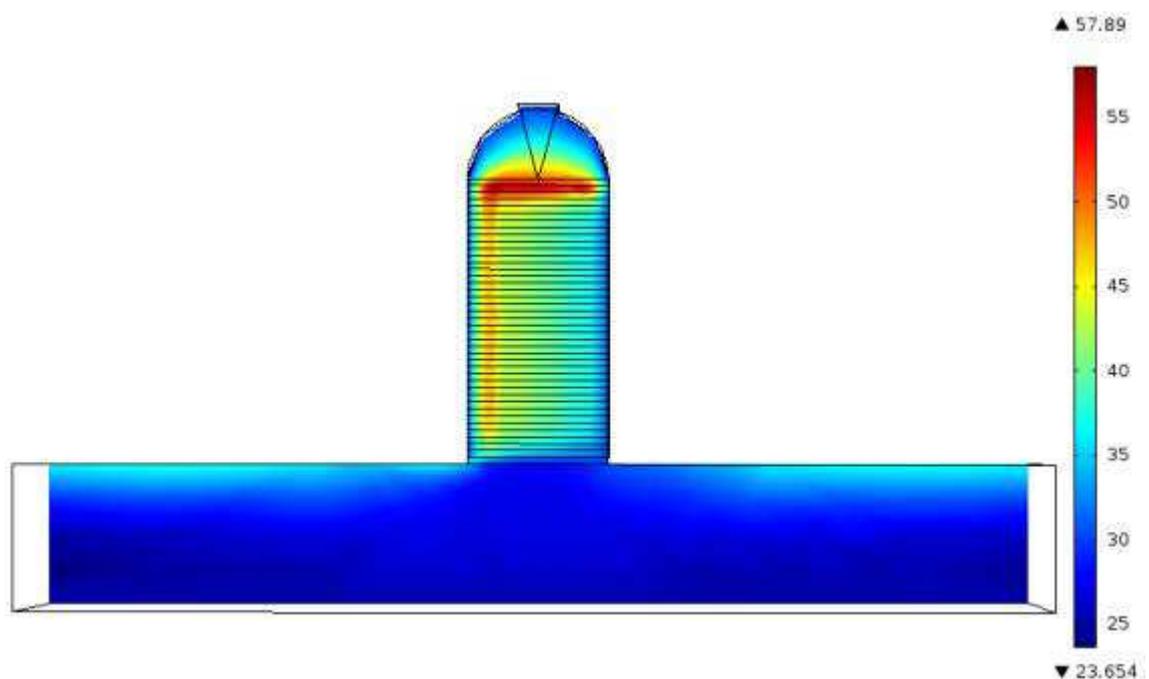
Fonte: autoria própria

A Fig.15 mostra um corte longitudinal da torre com as bandejas sobrepostas, expondo o campo de temperatura internamente onde se verifica os locais de maiores temperaturas, mas especificamente na primeira bandeja e na lateral esquerda da torre devido ao período do dia considerado que reflete diretamente na posição solar. A temperatura ao longo do corpo da torre apresenta uma variação de 40°C a 45°C.

A torre apresenta em seu teto de saídas de ar, e com isso espera-se que haja correntes ascendentes de convecção no interior da mesma retirando umidade e calor. Com os recursos disponíveis não foi possível realizar para os modelos em 3D da torre as plotagens considerando acoplamento de físicas no intuito de calcular em uma mesma simulação o campo de temperatura juntamente com o campo de velocidade, mesmo aumentando o máximo ao número de nós na malha de cálculo. Em função do esforço

computacional exigido para este tipo de simulação, foi verificada a falta de memória de processamento necessária para os avanços iterativos. Esta situação consiste em um dos principais fatores que justificam o atingimento de picos de temperaturas tão altos no interior da torre, seguida da importante contribuição das radiações entre superfícies bem como das configurações da forma em que foram configuradas as bandas de irradiação.

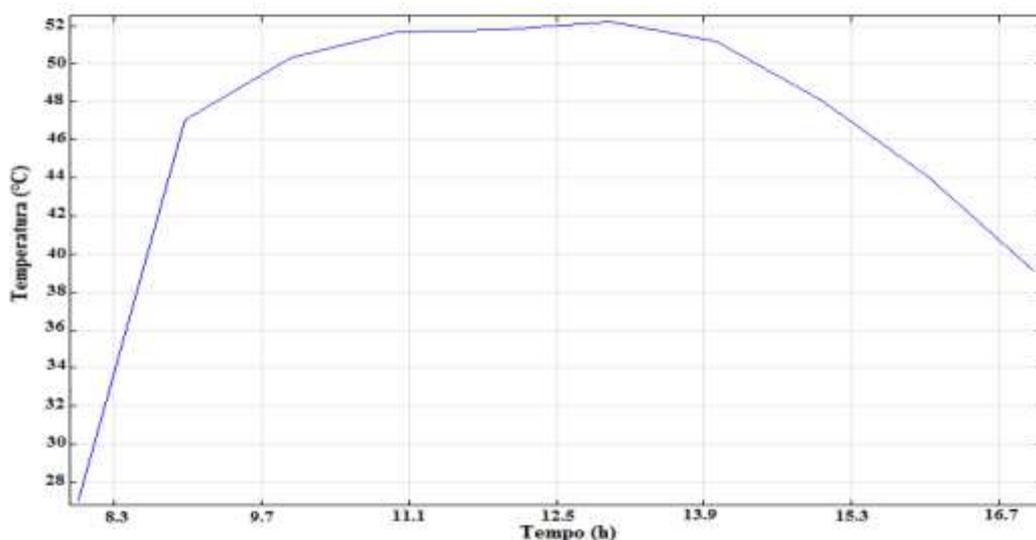
Figura 15 - Corte longitudinal da torre com as bandejas às 14h



Fonte: autoria própria

A Fig.16 mostra a variação de temperatura na parte superior da torre no centro da mesma. Observa-se que inicialmente a temperatura aumenta a uma taxa maior em relação à barçaca e outro ponto a ser considerado é o fato da torre manter melhor a temperatura em seu interior, onde verifica-se pouca variação de temperatura principalmente no intervalo entre 11h e 13h.

Figura 16 - Variação de temperatura no ponto central da parte superior da torre em relação ao tempo

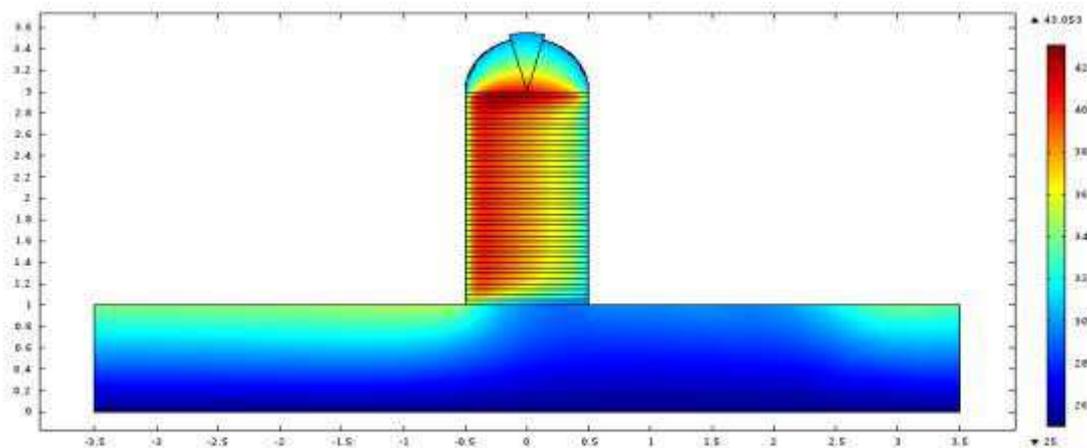


Fonte: autoria própria

Algumas simulações em 2D foram realizadas considerando as mesmas condições de contorno, porém com uma radiação incidente constante igual a 198W/m^2 e em regime estacionário. Estas simulações auxiliaram na verificação da variação da temperatura máxima atingida pela torre em função do aumento da altura da mesma através de sucessivas plotagens criadas a partir da ferramenta de simulação utilizada.

A Fig.17 ilustra o campo de temperatura sob as mesmas condições supracitadas, porém considerando as bandejas no interior da torre.

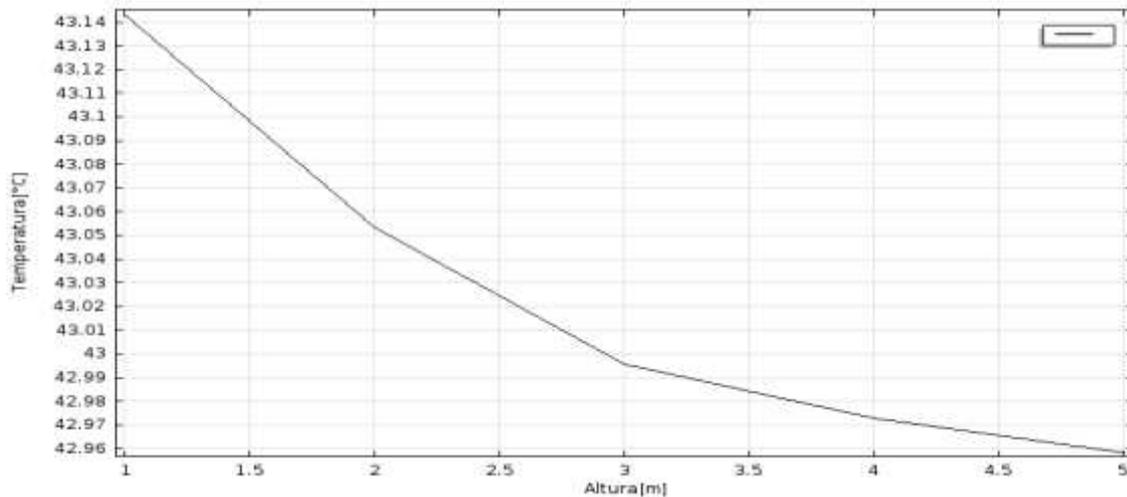
Figura 17 - Distribuição de temperatura da torre com as bandejas



Fonte: autoria própria

A Fig.18 ilustra graficamente uma sutil queda de temperatura no interior da torre, considerando as bandejas presentes na mesma (Fig.17). Esta perda sutil de temperatura (décimos de °C) pode ser influenciada por pelo menos dois fatos que ocorrem simultaneamente que é o aumento da superfície de contato com o ar atmosférico que influencia na taxa de perda de calor juntamente com fato do calor demorar mais tempo para se propagar no interior da torre devido a maior massa de ar existente.

Figura 18 - Temperatura máxima em função da altura da torre



Fonte: autoria própria

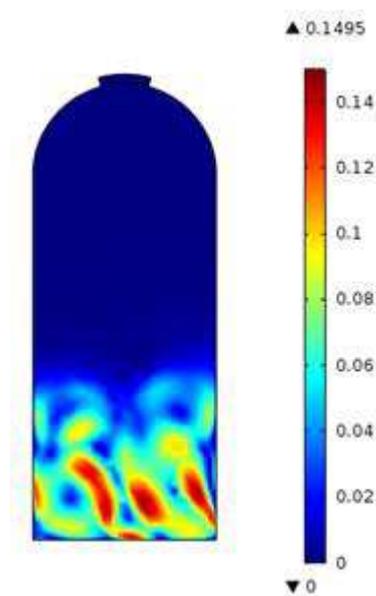
Como podemos observar a temperatura que a torre consegue atingir e manter em seu interior é muito maior em relação à capacidade da barçaça. A barçaça está sujeita diretamente à força dos ventos, logo sua perda de calor é muito mais rápida em relação à torre que possui o plástico agrícola em volta reduzindo este efeito.

A seguir serão ilustradas as simulações referentes a campos de velocidades máximas esperados no interior da torre, com tolerância absoluta de $5:10^{-4}$. Os inputs desta etapa foram obtidos a partir dos dados fornecidos das simulações anteriores referentes ao cálculo do campo de temperatura.

Com os recursos computacionais disponíveis para realizar as simulações dos campos de velocidade, foi conveniente que as bandejas fossem desprezadas na mesma.

A Fig. 19 mostra o campo de velocidade em 30s de simulação, onde podemos verificar uma corrente de convecção ascendente com velocidades próximas de 0; 14m/s.

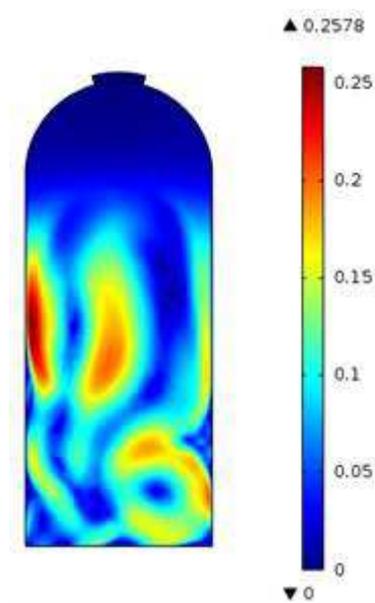
Figura 19 – Distribuição de velocidade em 30s(m/s)



Fonte: autoria própria

Considerando as mesmas condições, aumentando somente o passo, a Fig.20 mostra o campo de velocidade após 60s. Podemos verificar um significativo aumento no campo de velocidade, atingindo temperaturas próximas de 0,25 m/s.

Figura 20 - Distribuição de velocidade após 60s (m/s)



Fonte: autoria própria

Esta corrente de convecção no interior da torre, como já citado antes, é fundamental neste processo de secagem, pois deste modo o calor se propagará pelos grãos de baixo para cima contribuindo de uma maneira bastante conveniente para o processo de secagem, proporcionando uma melhor qualidade às amêndoas.

Houve um grande interesse em realizar as simulações para o cálculo do campo de velocidade considerando também as bandejas no interior do sistema, porém houve dificuldades em representar geometricamente as perfurações na base de cada uma das 40 bandejas para a posterior simulação.

4. Conclusões

A partir dos gráficos e dados analisados na seção anterior, é possível constatar que a alternativa às barcaças com o secador vertical se mostra eficaz, uma vez que o secador vertical consegue manter um pico de temperatura maior e mais estável que a barcaça (como pode ser analisado nas Fig. 6 e 16). Além disso, o secador vertical proporciona



III Simpósio de Engenharia de Produção

GESTÃO DE INFORMAÇÕES COMO APORTE DE COMPETITIVIDADE PARA ORGANIZAÇÕES PRODUTIVAS

vantagens como a redução da área necessária para a secagem, não requerer energia elétrica (para ventilação forçada), nem a queima de lenha para a secagem, mas usando somente energia solar, que incidem sobre suas paredes e teto. Outra vantagem é eliminação das condições insalubres do trabalho do operador de manejo dos grãos a céu aberto, as temperaturas geralmente são elevadas em estufas, sob raios ultravioletas, podendo atingir mais de 40°C, sem ventilação.

O secador vertical proporciona vantagens como a redução da área necessária para a secagem, não requer energia elétrica (para ventilação forçada), nem queima de lenha para a secagem, mas usando somente energia solar, que incidem sobre suas paredes e teto. Outra vantagem é eliminação das condições insalubres do trabalho do operador de manejo dos grãos a céu aberto, pois os trabalhadores enfrentam temperaturas elevadas em estufas, sob raios ultravioleta, podendo atingir mais de 40°C, sem ventilação.

Dessa forma, pode-se afirmar que existe uma alternativa viável e mais sustentável ao atual método de secagem de grãos para o cacau.

REFERÊNCIAS

As referências são alinhadas somente à margem esquerda do texto e de forma a identificar o documento, separadas por espaços simples.

OTT, Margot Bertolucci. **Tendências Ideológicas no Ensino de Primeiro Grau**. Porto Alegre: UFRGS, 1983. 214 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983.

MELLO, Luiz Antonio. **A Onda Maldita**: como nasceu a Fluminense FM. Niterói: Arte & Ofício, 1992. Disponível em: <<http://www.actech.com.br/aondamaldita/creditos.html>> Acesso em: 13 out. 1997.

SCHWARTZMAN, Simon. Como a Universidade Está se Pensando? In: PEREIRA, Antonio Gomes (Org.). **Para Onde Vai a Universidade Brasileira?** Fortaleza: UFC, 1983. P. 29-45.





III Simpósio de Engenharia de Produção

GESTÃO DE INFORMAÇÕES COMO APORTE DE COMPETITIVIDADE PARA ORGANIZAÇÕES PRODUTIVAS

SAVIANI, Demerval. A Universidade e a Problemática da Educação e Cultura. **Educação Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 3, p. 35-58, maio/ago. 1979.

AZEVEDO, Dermi. Sarney Convida Igrejas Cristãs para Diálogo sobre o Pacto. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 22 out. 1985. Caderno econômico, p. 13.

