

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ENGENHARIA DE ENERGIA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM DESIDRATADOR
HÍBRIDO SOLAR DE PRODUTOS AGRO ALIMENTÍCIOS**

por

Diogo Alberici Eugênio

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, Julho de 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM DESIDRATADOR
HÍBRIDO SOLAR DE PRODUTOS AGRO ALIMENTÍCIOS

por

Diogo Alberici Eugênio

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Chouhy Leborgne
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Prof^a. Dr^a. Letícia Jenisch Rodrigues

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Smith Schneider

Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos

M. Sc. Tiago Haubert Andriotty

Porto Alegre, 12 de julho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço primeiramente à minha família, por me apoiar a estudar na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e me dar todo o suporte possível para que eu pudesse superar todas as dificuldades e seguir em frente.

Agradeço à todos os professores do curso de Engenharia de Energia, em especial aos professores Paulo Smith Schneider e Letícia Jenisch Rodrigues, que me iniciaram no estudo científico dentro do Laboratório de Ensaio Térmicos e Aerodinâmicos e me acompanharam durante toda a jornada acadêmica, me auxiliando com aprendizados magníficos dentro e fora da sala de aula que levarei para toda a minha vida. E ao professor Flávio Antônio Becon Lemos, que com seu alto padrão me instigou a ser um profissional de excelência, buscando o meu auto aperfeiçoamento.

Agradeço também ao Jovem Batista, ao Tiago Andriotty, à Jakeline Tomazi e ao Gabriel Pettenuzzo que me acompanharam durante os meus três anos de iniciação científica no LETA. Foram muitas conversas, conselhos, debates políticos e engenhosidade.

Com toda a certeza são modelos de pessoas a serem seguidos.

Agradeço também a todos os companheiros de curso que se engajaram para seguir em frente em um curso que nem havia habilitação no início, sendo precursores e criadores deste curso. Debatendo sobre as disciplinas e exigindo professores de qualidade e excelência.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos cidadãos brasileiros que financiam e defendem a Universidade pública, e pela possibilidade dada a mim de ter um ensino de qualidade dentro dessa.

EUGÊNIO, D. A. **Desenvolvimento e avaliação de desempenho de um desidratador híbrido solar de produtos agro alimentícios**. 2018. 27f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os estudos relacionados ao desenvolvimento de um modelo de desidratador híbrido solar de produtos agro alimentícios. O design do desidratador e o modelo de coletor solar são desenvolvidos visando o custo benefícios do produtor rural. A partir da simulação realizada no software *Transient System Simulation* (TRNSYS), são dimensionadas as resistências elétricas e verificado o desempenho do modelo escolhido, a partir dos parâmetros de temperatura de entrada e saída do coletor solar. Construiu-se um protótipo para ser utilizado na região sul do Brasil, o qual ao término desse projeto será utilizado como produto final para um pequeno produtor da região de Porto Alegre. Desse modo, com a construção do protótipo, instrumentou-se o mesmo para verificar se as condições de temperatura são estabelecidas e por fim analisada a aplicabilidade do protótipo. A fim de tornar o mesmo viável para implantação em uma propriedade rural foi realizado um estudo de viabilidade econômica do projeto, mostrando que é um bom investimento a ser realizado frente uma aplicação de renda fixa.

PALAVRAS-CHAVE: Desidratação de alimentos; Desidratador híbrido solar; TRNSYS

EUGÊNIO, D. A. **Development and performance evaluation of a solar hybrid dehydrator of agro-food products**. 2018. 27f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

This paper presents preliminary studies related to development of an agro-food solar hybrid dehydrator model that are this project's base of knowledge. The dehydrator design and the solar collector model are then developed, aiming a considerable cost benefits to the rural producer. System' simulation accomplished in software Transient System Simulation (TRNSYS) is done in order to structure the electrical resistance and verify the model performance chosen according to input and output temperature of solar collector. Moreover, a prototype is built to be used in the south of Brazil, that in the end could be used like final product to a small or medium producer in the region. Having the prototype constructed, it has its features measured by instruments that are installed. They aims to verify if the conditions of temperature are established and lastly analysed the applicability of prototype. A economic viability study of the project is implemented with the target of prove the real applicability of the dehydrator in a rural property showing that it is a good investment to be made against a fixed income application.

KEYWORDS: Food Dehydration; Solar hybrid dehydrator, TRNSYS.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1	Processo de desidratação	3
3.2	Coletor solar	4
4	PROPOSTA PARA UM PROTÓTIPO DE DESIDRATADOR HÍBRIDO SOLAR	6
5	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO MODELO USANDO TRNSYS	8
6	O PROTÓTIPO CONSTRUÍDO	10
7	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELO E PROTÓTIPO.....	13
8	DESIDRATAÇÃO DOS PRODUTOS AGRO ALIMENTÍCIOS	15
9	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	15
10	CONCLUSÕES	19
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

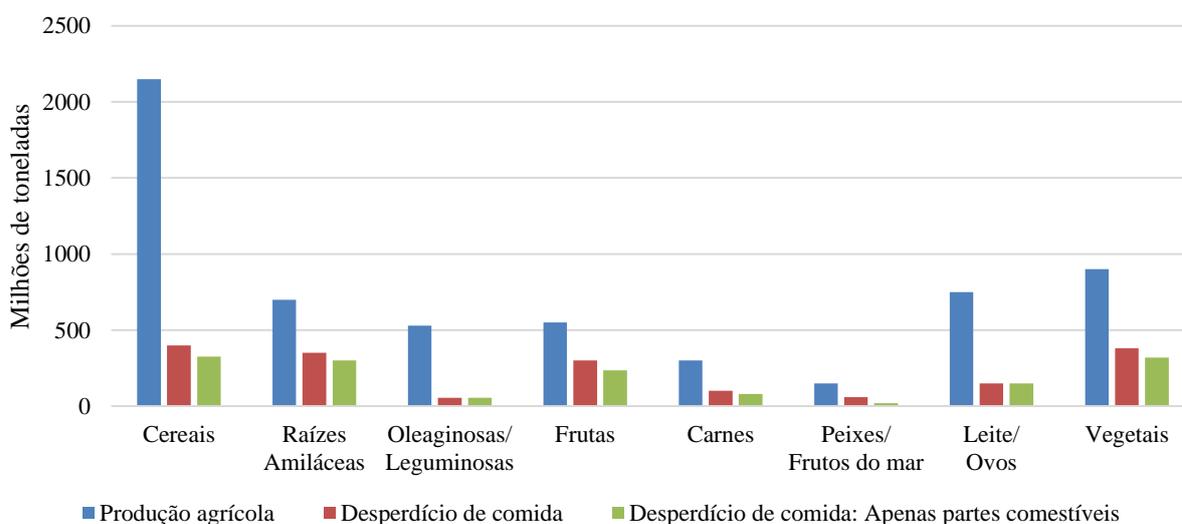
1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento da população mundial, que segundo a *United Nations Desa/Population Division* (UND/PD, 2017), chegará a 8,5 bilhões em 2030, tem provocado diversos questionamentos sobre os modos de vida e as práticas adotadas pela sociedade mundial. Um desses questionamentos é o desperdício de alimentos, o qual segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2013), atinge um terço de toda a produção de alimentos no mundo, o que equivale a aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas/ano. Desse valor, 46% do desperdício ocorre nas fases de processamento, distribuição e consumo. Em contrapartida a esse desperdício, 900 milhões de pessoas passam fome diariamente, (FAO, 2013).

Deste modo, como proposta de reduzir essas perdas, a desidratação de produtos agro alimentícios surge como alternativa, a fim de atuar principalmente nos segmentos de produção e armazenamento. Porém, parte do desperdício também ocorre nos processos de distribuição e processamento. Dessa forma, a desidratação também tem um potencial de atuar na redução dos desperdícios nesses segmentos, mesmo que em proporções menores do que nos segmentos principais.

Analisada toda a porção de alimentos não aproveitados, parte dessa não pode ser considerada para utilização no processo de desidratação, por não serem comestíveis. Dentre os alimentos que não são candidatos, seja por incapacidade ou a falta de necessidade para realizá-lo, estão as carnes, leite, ovo entre outros. Entretanto, como pode-se verificar na Figura 1.1, há porções que podem ser maximizadas pelo processo de desidratação e reduzir as perdas, tais como, cereais, frutas e vegetais.

Figura 1.1 – Produção agrícola versus desperdício de alimentos.



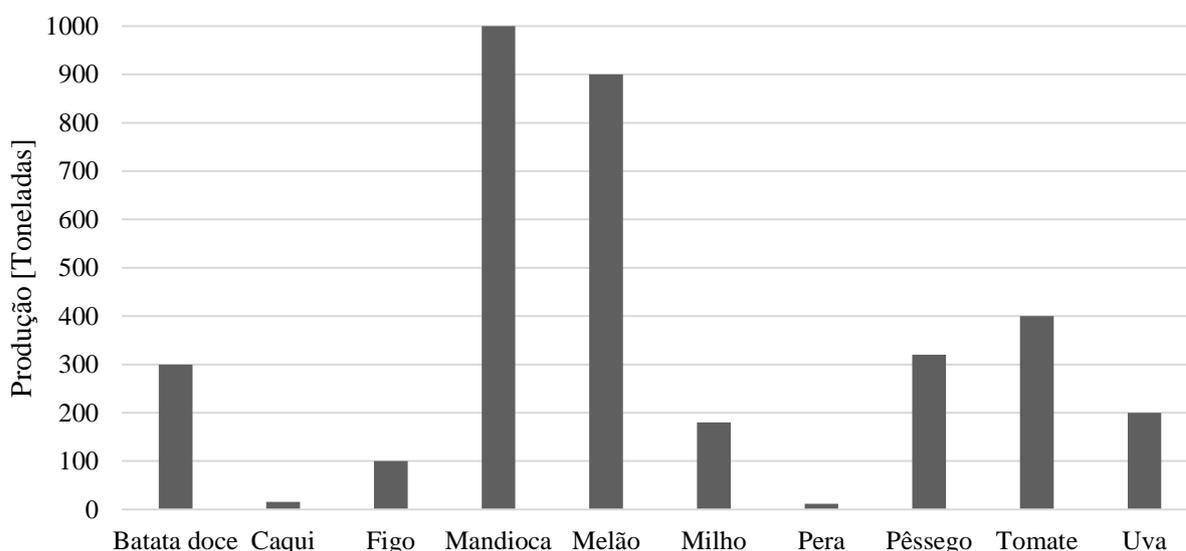
Fonte: (FAO, 2013).

Considerando a cidade de Porto Alegre (RS, Brasil) como possível local para implantação do projeto de desidratação de produtos agro alimentícios, observou-se na produção local a aplicabilidade do processo. Como mostra a Figura 1.2, existem 10 produtos com possibilidade de utilizar a desidratação para complementar a produção e reduzir as perdas, segundo dados da Produção Agrícola Municipal – Lavouras Temporárias e Produção Agrícola Municipal – Lavouras Permanentes, (IBGE, 2016). Foram excluídos das análises produtos característicos de grandes produtores como arroz e feijão, e produtos que não convém ser desidratados, como cana-de-açúcar e melancia, afim de ressaltar apenas os produtos agro alimentícios que podem ser aproveitados no processo de desidratação. Desses produtos, pode-se ressaltar alguns já comumente difundidos no ramo de alimentos desidratados como o tomate, a pera e a maçã.

Confirmando que a cidade de Porto Alegre tem potencial para implantação de um projeto de desidratação de produtos agro alimentícios pôde-se definir uma propriedade rural como estudo de caso.

Essa situa-se na zona leste da cidade, com uma área de dois hectares e uma diversificada produção, como por exemplo banana, pera, uva, pimenta, chás e cítricos. Sendo assim, este trabalho busca elucidar a possibilidade de investimento em produtos desidratados apresentando uma alternativa custo benefício a partir da energia solar. Dessa forma, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento regional, principalmente a partir de pequenos produtores e agricultores familiares.

Figura 1.2 - Produção agrícola da cidade de Porto Alegre.



Fonte: (IBGE, 2016).

Observado o potencial na desidratação de produtos agro alimentícios, o segundo passo a ser observado é como será realizado esse processo. Com o intuito de buscar a utilização de fontes renováveis e a minimização de custos, a energia solar térmica sobrepõe-se sobre as demais tornando-se objeto de estudo nesse trabalho. Duffie e Beckman, 2013, no livro *Solar Engineering of Thermal Processes*, apresentam estudos sobre sistemas solares, buscando entender a operação dos componentes desse, o sol, os coletores, sistemas de armazenamento, etc. A apresentação do funcionamento e da aplicação dos sistemas solares térmicos fez com que novos pesquisadores buscassem cada vez mais desenvolver a aplicação dessas teorias e encontrar novos modelos para melhor aproveitamento da energia solar. E é com esse intuito que o presente trabalho, a partir da teoria de coletores de placa plana (DUFFIE, J. A.; BECKMAN, 2013), desenvolveu um modelo de desidratador de frutas híbrido solar, utilizando um coletor solar e um sistema auxiliar de aquecimento por resistências elétricas.

2 OBJETIVOS

Este trabalho consiste em desenvolver um protótipo de desidratador de produtos agro alimentícios, utilizando um coletor de placa plana aletado, interligado de uma resistência elétrica, para compensar a redução de energia solar e propor um incremento de temperatura no escoamento. O modelo de coletor é escolhido de forma a proporcionar ao escoamento a máxima temperatura possível, assim obtendo maior aproveitamento da energia solar. O sistema de aquecimento auxiliar formado por resistências elétricas é dimensionado para manter o escoamento em uma determinada faixa de temperaturas, sendo monitorado com um controlador de temperatura, que ligará ou desligará as resistências conforme a necessidade. Para realizar o dimensionamento das resistências são realizadas simulações no software *Transient System Simulation* (TRNSYS). Este software permite simular sistemas transientes, através de um banco de dados meteorológicos com mais de 20 anos de informações, que podem assim simular um ano típico e determinar os cenários de simulação. A construção de um protótipo é realizada para verificar as simulações, seguindo a determinação do modelo. O protótipo é instrumentado

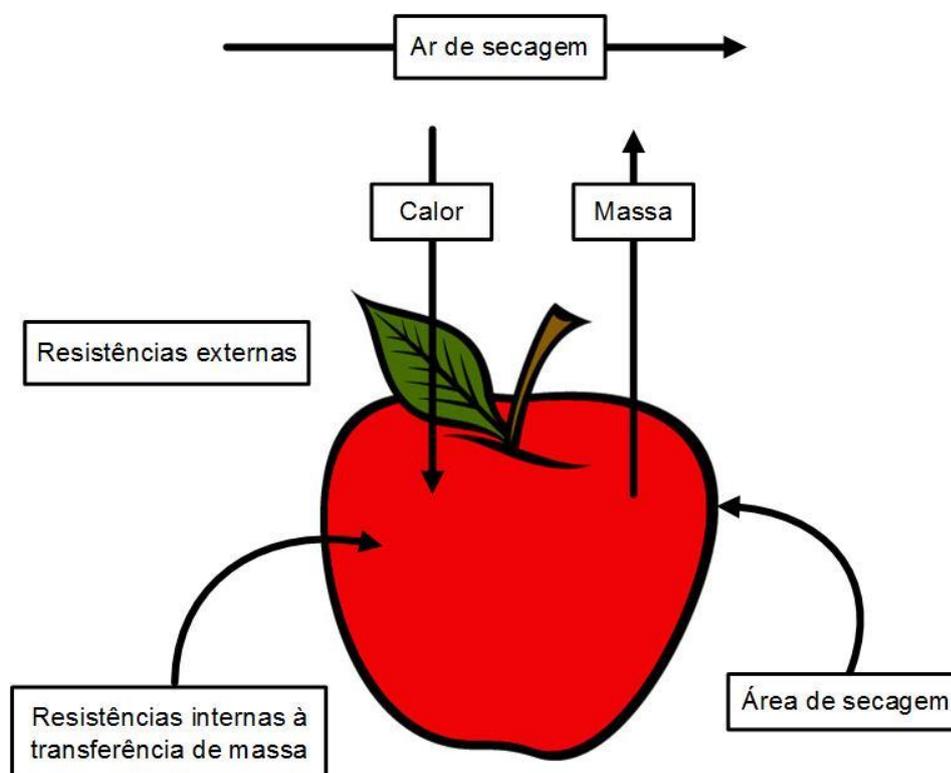
com um *Data Logger* para armazenamento e leitura dos dados, sensores de temperatura, tipo PT100, um sensor de radiação, tipo piranômetro. Por fim, objetivando a comercialização do produto, realiza-se uma análise de viabilidade econômica para três cenários distintos e utiliza-se a comparação com um investimento em Certificado de Depósito Bancário (CDB).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Processo de desidratação

A desidratação de produtos agro alimentícios é um processo utilizado para aumentar a vida útil dos alimentos e poder reaproveitá-los reduzindo as perdas. Esse foi definido por PERRY e GREEN, 2008, como “o processo em que materiais voláteis, usualmente água, são evaporados de um material para torná-lo um produto sólido.” e que a desidratação engloba tanto o fenômeno físico de transferência de calor quanto transferência de massa. O mecanismo de secagem é constituído por três fenômenos mais importantes, são estes: “a difusão de vapor devido ao gradiente de concentração, a difusão de água líquida em termos do gradiente de concentração e o escoamento capilar”, (GABAS, 1998). Desse modo, ao expor o produto agro alimentício à um escoamento com uma certa temperatura, o gradiente de concentração existente no próprio escoamento e a superfície do produto junto com a convecção induzem a evaporação da água. Pela superfície reduzir a concentração de água, através do fenômeno de osmose, água se desloca do interior para a superfície a fim de equilibrar as concentrações, assim, ocorrendo a desidratação do alimento. Entretanto, esse processo tem resistências que dificultam o processo de desidratação, como a resistência convectiva, que está representada na Figura 3.1 pelas resistências externas.

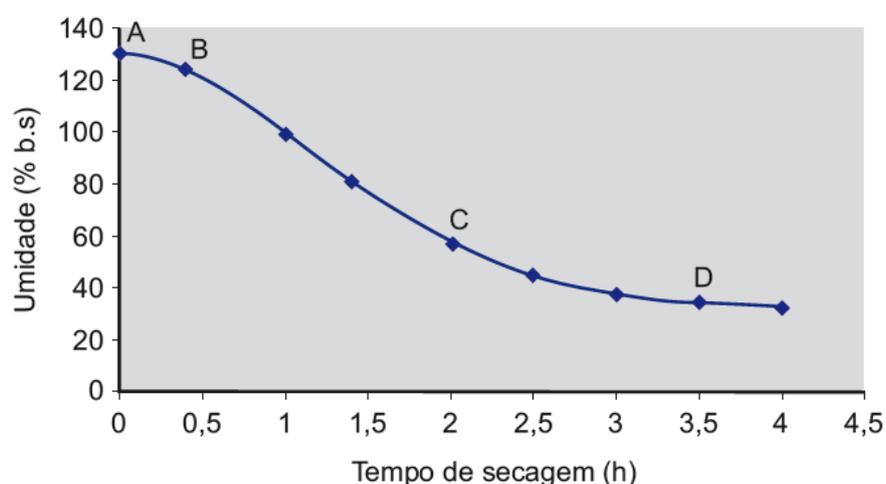
Figura 3.1 - Fenômenos físicos da desidratação.



Fonte: O autor.

O processo de desidratação do alimentos é um fenômeno que ocorre em diversas etapas, segundo estudo da EMBRAPA (CELESTINO, 2010). Na primeira fase do processo, segmento AB, como mostra a Figura 3.2, ocorre a adaptação do alimento às condições externa até a estabilização da temperatura interna na temperatura de bulbo úmido do ar externo, iniciando o processo de desidratação. Em uma segunda fase ocorre significativa redução da umidade, segmento BC, pois a superfície do alimento está saturada e há baixa resistência para que a água se desprenda do alimento. Já no último segmento, CD, é onde começa o aumento de resistência do movimento de líquido do interior do alimento para a superfície, devido aos gradientes de concentração. Essa é a região de umidade crítica, em que cada vez há menos líquido na superfície para evaporar. A partir do ponto D a umidade de equilíbrio é atingida e a pressão parcial de vapor da água contida na superfície do produto é igual à pressão de vapor da água contida no ar (CELESTINO, 1998).

Figura 3.2 – Umidade do alimento durante o processo de secagem.



Fonte: (CELESTINO, 2010).

Segundo Resolução RDC nº272, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária de 2005, “fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados” (ANVISA, 2005), assumindo como característica física de umidade para produtos vegetais secos ou desidratados um valor máximo de 12% (g/100g) e para frutas secas ou desidratadas um valor máximo de 25% (g/100g).

3.2 Coletor solar

No processo de desidratação solar de produtos agro alimentícios um dos elementos de maior importância é o coletor solar, o qual tem a função de absorver a energia proveniente do sol, através da radiação solar, e transferi-la para o escoamento. Esse processo segundo (DUFFIE, J. A.; BECKMAN, 2013), pode ser descrito pelo ganho de energia útil (Q_u), ou seja

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (3.1)$$

na qual, A_c é a área do coletor solar, F_R é o fator de remoção de calor do coletor, que é definido pela Equação 3.2, S é a radiação solar absorvida pelo coletor por unidade de área do absorvedor, U_L representa o coeficiente da soma das perdas por cima, entre o vidro e o meio externo através da reflexão e das perdas

por convecção, e por baixo, referente a transferência de calor entre o fluido e a estrutura isolante, de madeira, do coletor, T_i é a temperatura de entrada do coletor e T_a é a temperatura ambiente.

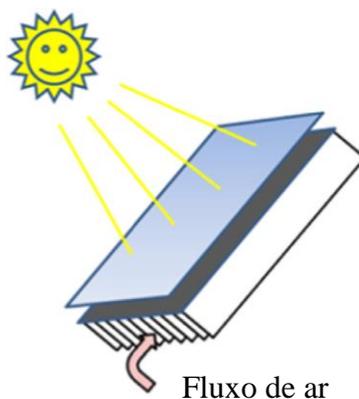
$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (3.2)$$

na qual, F' é o fator de eficiência do coletor, \dot{m} é a vazão mássica do escoamento, C_p é o calor específico. Para completar o equacionamento necessário para descrever os fenômenos que ocorrem em um coletor solar é imprescindível definir como é obtido o fator de eficiência do coletor (F'). Segundo (DUFFIE, J. A.; BECKMAN, 2013) esse é dependente de variáveis como o coeficiente de transferência de calor por convecção global (U_L), o coeficiente convectivo entre a placa absorvedora e o escoamento (h_1), o coeficiente convectivo entre o isolante e o escoamento (h_2) e o coeficiente radiante entre a placa absorvedora e o isolante (h_r), como pode-se ver na Equação 3.3.

$$F' = \left(1 + \frac{U_L}{h_1 + \frac{1}{\frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_r}}} \right)^{-1} \quad (3.3)$$

A fim de obter maior eficiência no processo de aquecimento do ar, buscou-se um design alternativo à placa plana simplesmente, objetivando aumentar a perda de carga no escoamento e consequentemente reduzindo a velocidade do mesmo, assim fazendo com que o ar permanecesse por mais tempo sob transferência de calor e saindo para a câmara de secagem com uma temperatura superior à de um sistema com apenas uma placa plana. Dentre diversas opções de melhorias escolheu-se como base o modelo proposto por (DENG *et al.*, 2016), que obteve a maior temperatura de saída do coletor, sob condições climáticas favoráveis de alta radiação solar, a Figura 3.1 mostra o desenho esquemático desse modelo. O coletor é formado por um vidro, com alta transmitância, abaixo desse duas placas planas absorvedoras paralelas, com alta absorvidade, entre essas placas existem diversas aletas que confinam o escoamento, aumentando a troca térmica. Situado em uma posição inferior à placa plana absorvedora tem-se um isolamento de poliuretano, que reduz as perdas por condução.

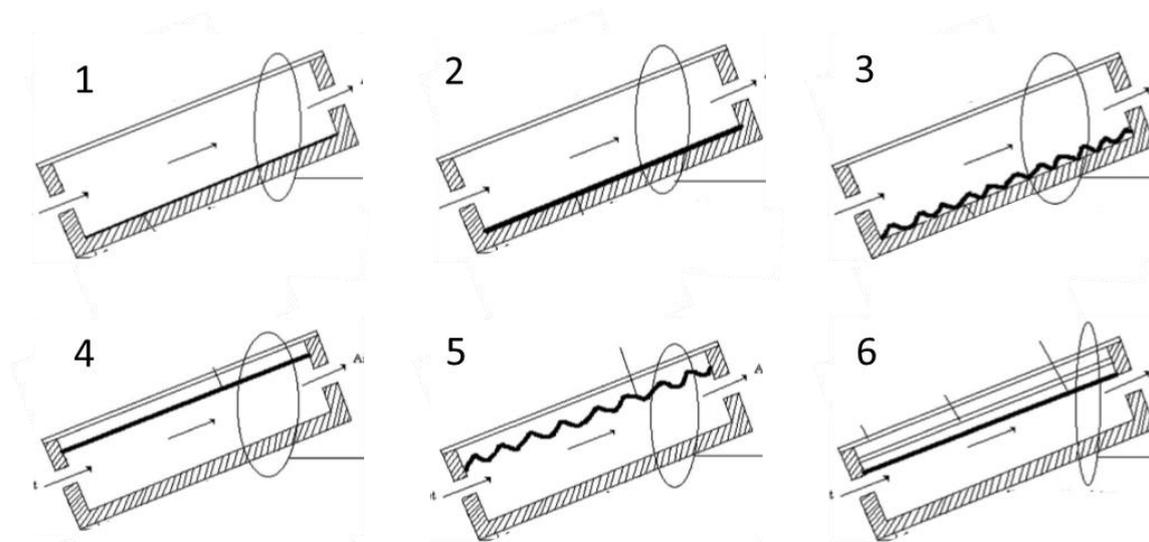
Figura 3.1 - Coletor solar de placa plana aletado.



Fonte: Adaptado de (DENG *et al.*, 2016).

Com base no estudo realizado por (KOYUNCU, 2006), em que são comparados os desempenhos de seis modelos de coletores solares de convecção natural para aquecimento de ar, como mostra a Figura 3.2, foi observado que o modelo mais eficiente é de placa absorvedora lisa e escoamento por cima. Sendo assim, foi decidido unir ambas as ideias e desenvolver um modelo de placa absorvedora lisa, escoamento por cima e aletado.

Figura 3.2 – Modelos de coletores: 1 - Sem placa absorvedora, 2 - Placa absorvedora lisa e escoamento por cima, 3 - Placa absorvedora ondulada e escoamento por cima, 4 - Placa absorvedora lisa e escoamento por baixo, 5 - Placa absorvedora ondulada e escoamento por baixo e 6 - Placa absorvedora lisa, escoamento por baixo e dupla cobertura.



Fonte: Adaptado de (KOYUNCU, 2006).

4 PROPOSTA PARA UM PROTÓTIPO DE DESIDRATADOR HÍBRIDO SOLAR

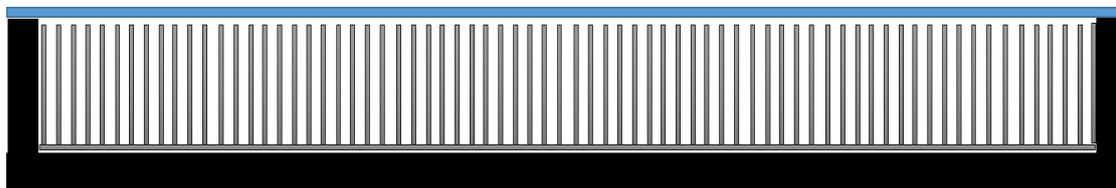
Com o intuito de desenvolver um produto que possa ser comercializado para pequenos e médios produtores de produtos agro alimentícios a proposta de modelo de desidratador híbrido solar foi pensada visando ser uma unidade de baixo custo. Partindo do princípio de que se possa rentabilizar ao máximo os lucros provenientes dos agro alimentos desidratados e assim servir de incentivo e modelo para que haja uma expansão dessa visão de reaproveitamento dos alimentos. Dessa forma, o fato de o coletor solar ser composto por materiais de fácil acesso e baixo custo, foi resultado da objetivação dessa proposta. Resultando na busca de cada componente do protótipo para que esse tenha a máxima eficiência possível, maior durabilidade e facilidade de manuseio do produtor, além de atender às especificações técnicas de boas práticas para serviços de alimentação conforme normas.

Assim, a proposta de um protótipo de desidratador é composto por um coletor solar de placas planas com aletas, como mostra a Figura 4.1, que vai elevar a temperatura do ar, inicialmente a temperatura ambiente, até um valor máximo que possa ser atingido com esse sistema, porém não ultrapassando o limite máximo.

Como a temperatura de saída do coletor depende da temperatura de entrada no mesmo, em certas épocas do ano a temperatura atinge valores abaixo de 10°C , aliado à baixa irradiação solar, o escoamento não recebe energia suficiente, fazendo com que a temperatura de saída do coletor seja muito inferior ao valor que necessita-se para desidratar os produtos agro alimentícios, que é entre 60°C e 70°C , segundo (FOOD INGREDIENTS, 2013). A partir desse ponto são inseridas resistências elétricas de forno que proporcionam um implemento de energia. Através do efeito Joule as resistências aquecem e transferem essa energia para o escoamento proporcionando a elevação da temperatura até o valor alvo de 65°C , assim passando para a câmara de secagem com os valores desejados de projeto para desidratar os produtos. O controle de temperatura é realizado através de um termostato, cujo bulbo encontra-se na câmara de

secagem, que através do seu sistema interno atua como uma chave que abre ou fecha o circuito, mantendo a temperatura dentro dos limites. Esse efeito ocorre devido à composição de duas lâminas bi metálicas, com coeficientes de dilatação distintos, que ao elevar a temperatura uma lâmina dilata mais que a outra realizando a separação das mesmas e interrompendo o circuito.

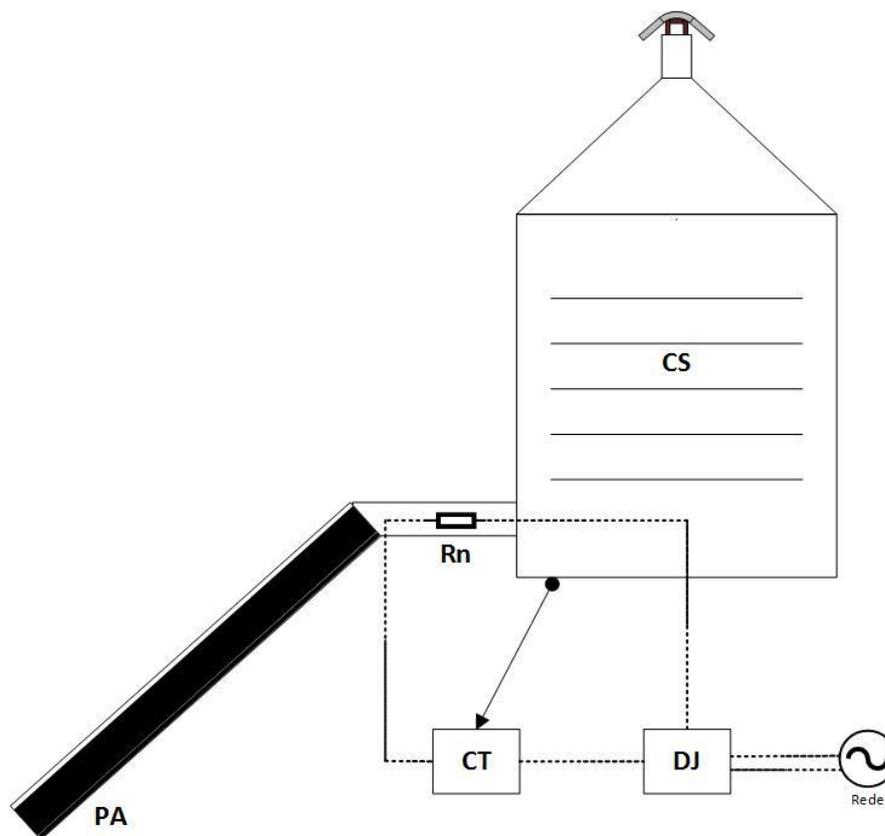
Figura 4.1 – Vista frontal do coletor solar.



Fonte: O autor.

A câmara de secagem é composta por uma área interna isolada em que se tem acoplado a saída do coletor, a chaminé e a porta de acesso para colocar e retirar os produtos desidratados. O interior da câmara é composto por grelhas, chapas de metal, com furos redondos, que permitem apoiar os produtos agro alimentícios e escoar a pluma ascendente simultaneamente. A Figura 4.2 apresenta o modelo de desidratador híbrido solar desenvolvido, com todos os elementos que o compõe.

Figura 4.2 – Protótipo de desidratador: CS (câmara de secagem), Rn (resistências elétricas), DJ (disjuntor termomagnético), PA (placa absorvedora), CT (controlador de temperatura), Rede (alimentação elétrica).



Fonte: O autor.

5 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO MODELO USANDO TRNSYS

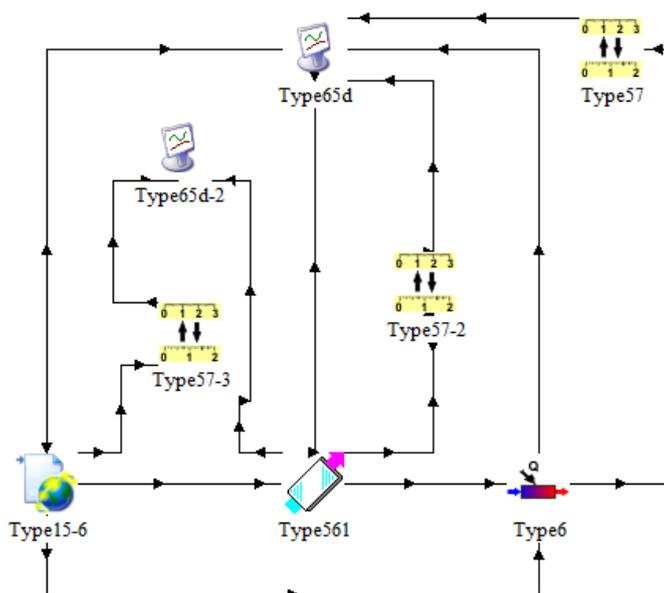
O software *Transient System Simulation* (KLEIN, 2016) é uma ferramenta para simulação de sistemas transientes. Esse é dividido em duas partes, o Kernel que lê e processa os parâmetros de entrada e iterativamente resolve o sistema, determina a convergência e plota as variáveis do sistema. A segunda parte é composta pelas bibliotecas de componentes, em que cada um desses modela o desempenho de uma parte do sistema a ser estudado. As bibliotecas abrangem diversos componentes como bombas, turbinas eólicas, elementos de cogeração, dados meteorológicos, fenômenos físicos, coletores solares térmicos, entre outros. Esses elementos que modelam os componentes são chamados de *procedure*, subprogramas, que contém o equacionamento e os procedimentos de solução do mesmo. Dessa forma, o TRNSYS funciona com um programa principal que gerencia o programa globalmente unindo os subprogramas, que contém cada elemento do sistema simulado, e formando o sistema total. Explicitamente o programa funciona como um diagrama de blocos, em que cada bloco é uma *procedure*, denominada de *Type*. Essa modela determinado componente do sistema, que necessita de parâmetros de projeto, dados de entrada e por fim fornece os dados de saída. Assim interligando os blocos ou estabelecendo um valor fixo obtém-se os dados de entrada, que ao utilizar uma *procedure* apropriada e rodar o programa, pode-se plotar os dados de saída de qualquer componente ou gerar os dados em planilha.

Nesse trabalho, para simular o sistema de transferência de calor para a desidratação dos produtos agro alimentícios inicialmente determinou-se os dados meteorológicos, sendo utilizada a *procedure* baseada no banco de dados da Meteororm (METEOTEST, 2007), chamada de Type 15-6. O qual contém 8.325 estações espalhadas pelos países do globo e fornecem uma base histórica de 20 anos de dados. Essa base é utilizada para criar um ano padrão com 8.760 horas que serve de referência temporal nas simulações. Como o estudo de caso é para uma propriedade rural na cidade de Porto Alegre, os dados de referência foram utilizados para essa cidade. É importante ressaltar que todos os dados meteorológicos foram obtidos em uma estação meteorológica localizada na cidade de Porto Alegre, exceto os dados de radiação solar que foram registrados na cidade de Buenos Aires, na Argentina, e interpolados para a cidade de Porto Alegre, conforme metodologia do TRNSYS. Para analisar com melhor precisão os dados de radiação solar foi acoplado um conversor de unidades, Type 57, como mostra a Figura 5.1, pois esses dados são gerados na unidade de kJ/h.m^2 , convertendo para W/m^2 . Para realizar o aquecimento do ar foi selecionado um coletor de placa plana para aquecimento de ar, Type 561, que tem o seu equacionamento baseado no desenvolvimento feito por (DUFFIE, J. A.; BECKMAN, 2013), em que o ar quiescente passa por trás da placa aquecedora. Os principais parâmetros de projeto foram definidos como área total do coletor, $1,983 \text{ m}^2$, calor específico do fluido ($C_{p,ar}$), $1,007 \text{ kJ/kg.K}$, emissividade da placa absorvedora (ϵ), $0,84$, refletância (R), $0,1$. Já os dados de entrada foram obtidos a partir dos dados de saída do Type 15-6, dados climáticos, com exceção da vazão mássica, que foi fixada em $147,6 \text{ kg/hr}$, obtida de (DENG *et al.*, 2016), da inclinação do coletor em 40° , dos coeficiente convectivo no lado superior da placa absorvedora (*top loss*) e inferior do coletor (*back loss*), que foi obtido por (BASSO, 2017), nos valores de 5 W/m^2 e 3 W/m^2 , respectivamente. Conectado em série a esse uma *procedure* que simula uma resistência elétrica recebe o ar aquecido pelo coletor solar e eleva ou mantém esse no valor apropriado para o processo de desidratação. Nessa *procedure* define-se os parâmetros de projeto como taxa máxima de calor, em 10.000 kJ/h , calor específico do fluido, em $1,007 \text{ kJ/kg.K}$, o coeficiente de perdas durante a operação foi desconsiderado e a eficiência do resistor foi idealizada no valor de 100% , como simplificação. Como valores de entrada foram definidos os valores de temperatura e vazão de saída do coletor, temperatura alvo de 65°C e a temperatura ambiente foi obtida dos dados climáticos.

Para realizar a leitura dos dados da simulação foi utilizado um *plotter*, Type 65d, que organiza os dados de temperatura e potência em dois eixo verticais distintos, como mostra a Figura 5.2. Nessa, pode-se observar em azul e vermelho as temperaturas ambiente e da saída do coletor, respectivamente, cuja sazonalidade é bastante característica. Além disso a região apresenta significativa amplitude térmica com temperaturas variando de 0°C no inverno até 36°C no verão. A curva em rosa representa a temperatura de saída após o escoamento passar pelas resistências elétricas, idealmente essa curva mantém-se constante simulado como se a resistência elétrica nunca fosse desligada. Dessa forma, através do *Output*, potência

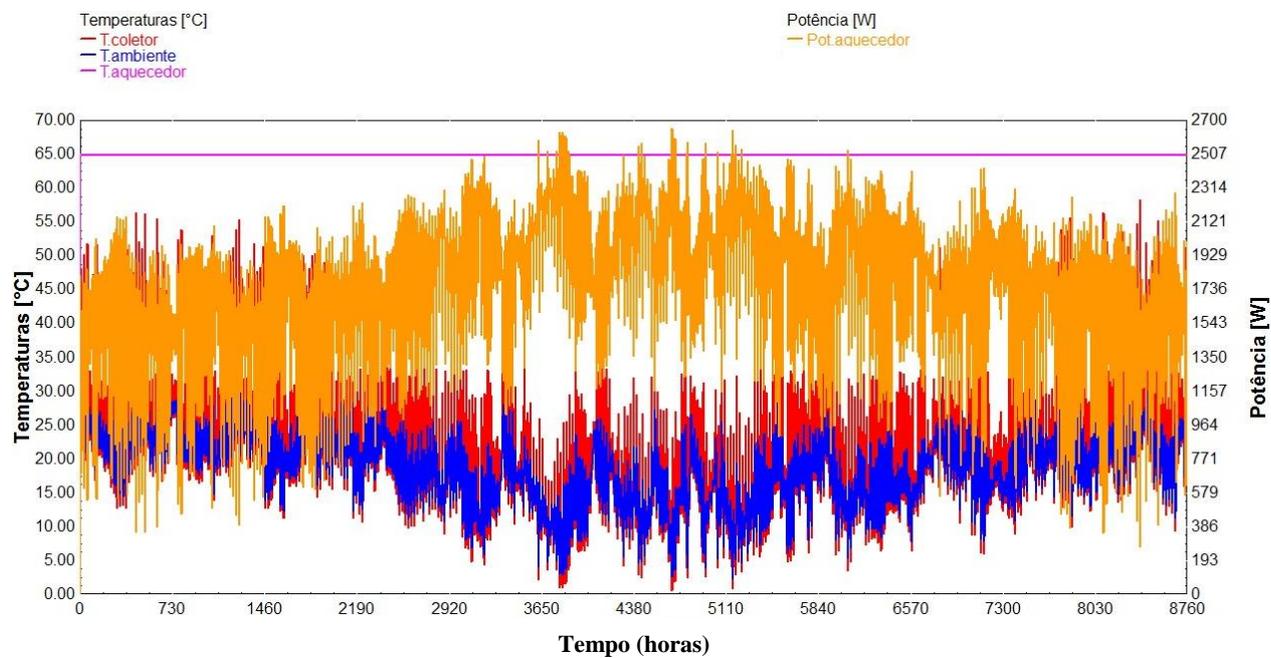
elétrica requerida, pôde-se verificar o dimensionamento da resistência para atender às condições do sistema.

Figura 5.1 - Modelo desenvolvido no TRNSYS.



Fonte: O autor.

Figura 5.2 – Dados de temperatura e irradiação simulados no TRNSYS.

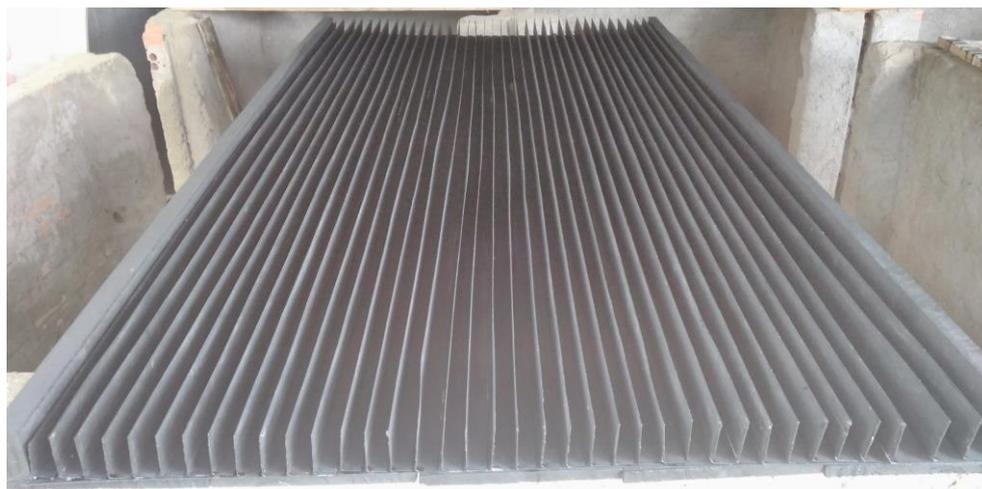


Fonte: O autor.

6 O PROTÓTIPO CONSTRUÍDO

Tendo realizado o dimensionamento do coletor solar e das resistências elétricas, iniciou-se o processo de construção do protótipo. O primeiro elemento a ser construído é o coletor solar. Esse é formado por tábuas de madeira de pinus, de 13 mm x 200 mm x 2.000 mm, em sua base, sarrafos de pinus, 25 mm x 50 mm x 2.000 mm, nas laterais, uma chapa de aço galvanizado, de 2.000 mm x 1.000 mm, sobre a base e cantoneiras de aço galvanizado, de 20 mm x 50 mm x 2.000 mm, sobre a chapa, como mostra a Figura 6.1. Todos os materiais utilizados foram pintados com tinta preta fosca para proteger das intempéries e também para que haja menor reflexão da irradiação incidente. Por fim, a estrutura foi coberta por um vidro temperado com 6 mm de espessura, com 2.000 mm de comprimento e 1.000 mm de largura, pois esse tipo de vidro é mais resistente a choques mecânicos do que um vidro comum, cerâmico e transparente a base de sílica (CALLISTER W. D.; RETHWISCH D. G., 2010). Posto que na região há ocorrências de chuvas de granizo esse reforço no tipo de vidro faz-se necessário. A orientação do coletor solar foi realizada segundo (ROJAS, 2013) com azimute de 0°, face do coletor voltada para o Norte, e inclinação de 40°, latitude mais 10°. Além disso, o posicionamento do coletor foi realizado de forma a facilitar a entrada de ar na seção, com isso foram posicionadas três pedras na base inferior do coletor para que o mesmo ficasse aproximadamente 300mm acima do solo, evitando assim que a vegetação atrapalhasse o escoamento do ar na seção.

Figura 6.1 – Coletor solar de placa plana aletado.



Fonte: O autor.

O segundo elemento a ser construído foi a estrutura de alvenaria com tijolos do tipo 6 furos e argamassa a base de cimento, areia e cal, como mostra a Figura 6.2. Foram escolhidos esses materiais devido ao baixo custo para compra e às condições sanitárias, para não proliferação de micro-organismos.

A seção de desidratação foi dimensionada para atender à uma demanda de 60 bananas ou 25 peras por processo de desidratação. Foi então definido o tamanho médio para bananas de 0,1m de comprimento por 0,035m de diâmetro e para peras de 0,075m de altura por 0,070m de diâmetro. Considerando que para desidratação sejam cortadas fatias de 0,004m de espessura têm-se uma área de ocupação de 1,838m² e 1,804m², respectivamente. Analisando a questão estrutural tem-se uma redução da área interna devido à estrutura de sustentação das prateleiras. Assim, utilizando prateleiras de aço inox construídas nas dimensões de 0,710m x 0,450m e permitindo uma área de manuseio encontra-se uma área interna de 1,000m², colocando duas prateleiras lado a lado. A altura da estrutura foi definida a partir da inclinação do coletor solar, em que a contar da seção de saída do coletor foram inseridas prateleiras com espaçamento de 0,1m até que a área de ocupação dos produtos a serem desidratados fosse atendida, resultando assim em duas colunas de três prateleiras, como mostra a Figura 6.2. Toda a área abaixo da

seção do coletor foi preenchida com terra e ao final colocada uma manta de lã de rocha e papel laminado para isolar termicamente.

Figura 6.2 – Estrutura de alvenaria, coletor solar e seção de resistências.



Fonte: O autor.

Figura 6.3 – Seção de desidratação.



Fonte: O autor.

O terceiro elemento implementado na estrutura foi o telhado, utilizando telhas de fibrocimento ondulada de 6mm, material esse escolhido devido ao baixo custo e resistência às intempéries. Para que o ar carregado de umidade pudesse sair da estrutura com maior facilidade, as telhas foram posicionadas inclinadas formando um telhado de duas águas, porém distantes de 15cm. Dessa forma, a estrutura configura-se em um funil que acelera o escoamento (FOX *et al.*, 2014) auxiliando na exaustão da pluma ascendente de ar, como mostra a Figura 6.3.

O quarto elemento construído foi o sistema elétrico, composto pelas resistências elétricas, dispositivo de proteção (disjuntor termomagnético), cabo e controlador de temperatura (termostato). As resistências dimensionadas no software TRNSYS para atender a uma potência de aproximadamente 2.660 W foram implementadas no projeto através de 3 resistências para forno elétrico, nas potências de 1.000 W, 1.000 W e 750 W, ligadas em série. Essa foram utilizadas devido ao baixo custo, posto que comprar ou mandar fazer uma resistência elétrica na potência exata necessária acarretaria em um custo mais elevado. Tendo em vista a potência necessária para suprir a ineficiência do sistema solar realizou-se a alimentação do circuito na tensão de 220 V, dessa forma verificando-se uma redução da corrente no circuito e conseqüentemente a possibilidade de redução da seção do condutor. Calculando a corrente pela Lei de Ohm, em que P é a potência em Watts e U é a tensão em Volts, encontrou-se o valor de 12,5 A.

$$i (A) = \frac{P (W)}{U (V)} \quad (6.1)$$

Desse modo, tendo a corrente de projeto do circuito e considerando que parte dos condutores estão expostos à uma temperatura de até 70 °C, define-se da Tabela 6.1, da NBR5410:2008 (ABNT, 2008), nas condições de capacidade de condução de corrente para condutores de cobre e alumínio, isolamento ERP ou XLPE, condutor isolado em eletroduto aparente (B1) e 2 condutores carregados, as seções de 1,5 mm², 2,5 mm² e 4 mm², como possibilidades para o circuito. Devido à temperatura, deve-se corrigir os valores de capacidade de corrente, conforme NBR5410:2008 (ABNT, 2008), dividindo pelo fator de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C. Nesse caso, como a temperatura ambiente pode chegar até 70°C dentro da seção das resistências, utilizamos o fator de 0,58, retirado da tabela 40 da NBR 5410-2008 obtendo assim a nova corrente de projeto corrigida de 21,55 A. Para que haja a possibilidade de expansão do sistema elétrico foi escolhido o cabo de 2,5 mm².

Tabela 6.1 – Capacidade de condução de corrente, em Ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D, Condutores: cobre e alumínio, Isolação: EPR ou XLPE, Temperatura no condutor: 90°C, Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo).

Seções nominais mm ²	Método de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	Cobre											
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2008).

Tendo os valores de corrente do projeto e o cabo escolhido, determinou-se a proteção do sistema elétrico utilizando um disjuntor termomagnético de dois polos. A modelo de disjuntor foi escolhido através da inequação, onde a corrente do disjuntor deve ser maior que a corrente de projeto, limite inferior, para que o disjuntor não atue durante o funcionamento do circuito. Já o limite superior é definido

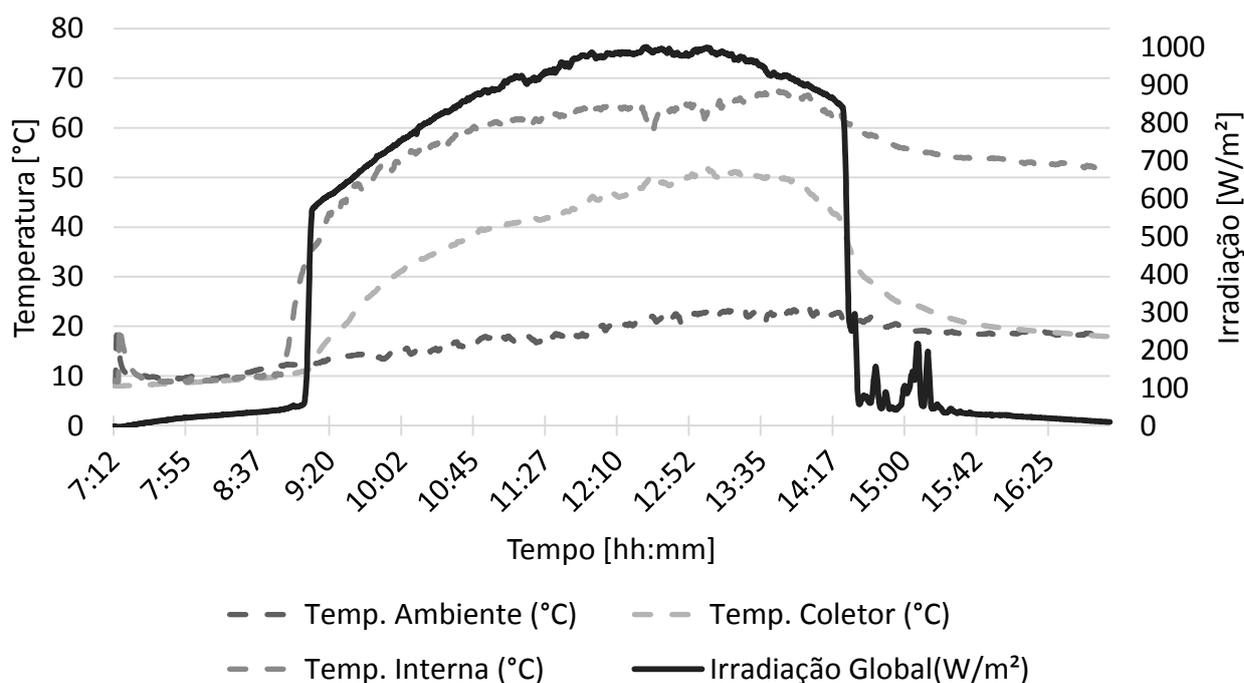
pelo produto da capacidade de condução de corrente do condutor, 31 A, pelos fatores de correção para temperatura, 0,58, e para condutores agrupados, 1, retirados das tabelas 40 e 42 da NBR5410-2008, respectivamente, resultando em 17,98 A. Dessa forma, o disjuntor escolhido foi de 16 A, que atende aos limites inferior de 12,5 A e superior de 17,98 A.

Para finalizar o circuito, foi inserido o termostato de forno elétrico entre o disjuntor e as resistências e dimensionado o eletroduto. Esse foi definido a partir da seção dos condutores afim de que não fosse ocupada mais de 31 % da área do eletroduto, conforme NBR5410:2008 (ABNT, 2008). Assim, considerando o diâmetro externo dos condutores 5,6 mm, obtém-se área total dos dois condutores de 49,26 mm² e, portanto, deve-se utilizar um eletroduto de 20 mm (1/2") de diâmetro externo e 2,3 mm de espessura, em PVC, cuja área de ocupação limite é de 57,74 mm².

7 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELO E PROTÓTIPO

Tendo então o protótipo construído, fez se necessária a instrumentação do mesmo para que pudesse ser realizada a análise de desempenho do produto. Para a aquisição dos dados foi utilizado um *Data Logger* Agilent modelo 34970A, com incerteza de $\pm 0,005$ % para tensão em corrente contínua e $\pm 0,01$ % para resistência. Utilizando o programa *BenchLink Data Logger 3* como interface, foi configurada uma frequência de amostragem dos sensores de 5 s. Para realizar a leitura dos dados de temperatura foram utilizados três sensores tipo PT100, com incerteza de $\pm 0,5$ °C, posicionados no lado externo do desidratador, na saída do coletor solar e na câmara de secagem. Um sensor de irradiação do tipo piranômetro, da marca Kipp&Zonen, com incerteza de ± 2 % foi posicionado sobre o coletor solar, com mesma inclinação desse. Foram então realizadas medições durante um dia inteiro, iniciando às 07h12min e finalizada às 17h01min. As condições climáticas foram favoráveis com céu claro em um dia de inverno, sem nuvens, porém baixas temperaturas. A Figura 7.1 apresenta os dados de temperatura e irradiação global verificados na medição. Nessa, pode-se observar que ao iniciar a campanha os três sensores de temperatura indicavam praticamente as mesmas temperaturas, posto que apenas a radiação difusa de baixa intensidade atuava sobre o coletor.

Figura 7.1 – Dados de temperatura e irradiação coletados.

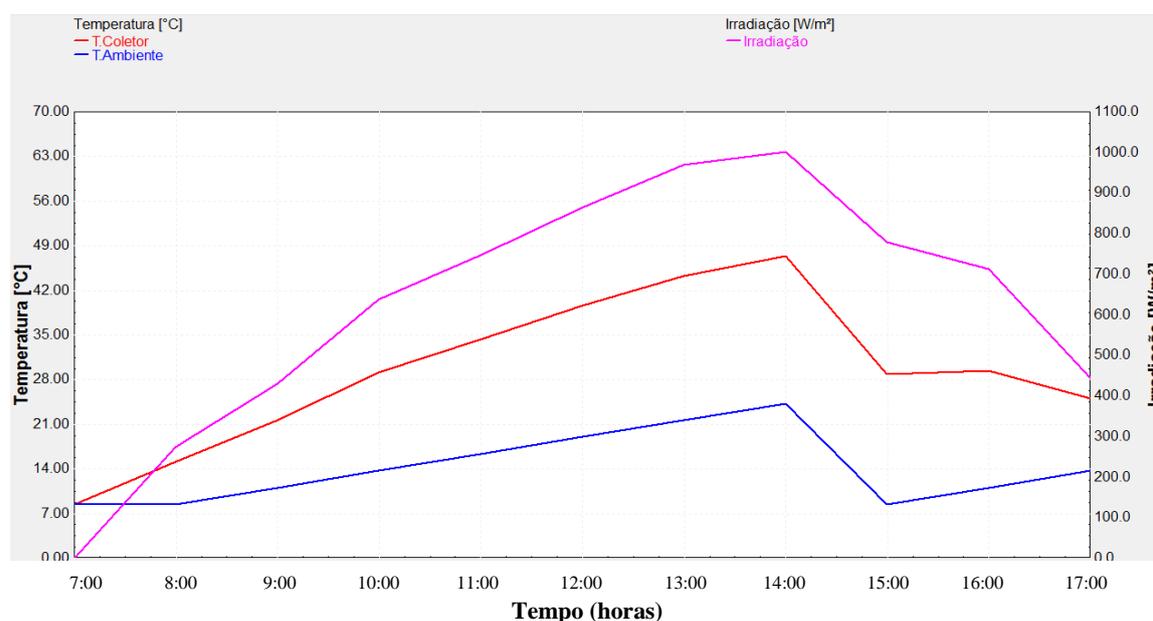


Fonte: O autor.

Como no local há diversas árvores ao redor é capaz de se observar que até aproximadamente 9h da manhã há sombreamento sobre o coletor. Após esse instante ocorre um degrau de irradiação incidente sobre o coletor e gradativamente a temperatura do coletor eleva-se. Pode-se observar também que instante antes de iniciar a incidência de irradiação direta sobre o coletor a temperatura interna da câmara de secagem começa a elevar-se, esse fato deve-se ao acionamento das resistências elétrica. A sobreposição da elevação da temperatura ambiente (temperatura de entrada no coletor) com o incremento de energia fornecido pelo coletor solar e mais as resistências elétricas faz com que o sistema entre em regime permanente operando entre a faixa de temperatura ideal de 60 °C até 70 °C para desidratação dos alimentos. Analisando a Figura 7.1, é possível observar que com a elevação da irradiação solar o sistema vai gradativamente necessitando de menos potência elétrica provinda das resistências de forno. Posto isso, o coletor solar segue sucessivamente aumentando a temperatura de saída de ar até atingir o valor máximo de 52,0 °C. Como dito anteriormente, devido à arborização do local, aproximadamente às 14h30min inicia-se o processo de sombreamento sobre o sistema, fazendo assim com que a temperatura de saída do ar do coletor reduza-se até chegar na temperatura ambiente. O mesmo não ocorre com a temperatura interna na câmara de secagem, pois as resistências elétricas permaneceram ligadas fornecendo energia para o escoamento. Entretanto, apenas a fonte elétrica, nessa situação, não é suficiente para manter a temperatura dentro do padrão.

Verificado o desempenho individual do protótipo, pode-se então ser realizada a análise entre o modelo desenvolvido no software TRNSYS e o protótipo. Sob as condições descritas no Capítulo 5, buscou-se então sobre o ano típico um dia que fornecesse condições similares, de temperatura e irradiação, às verificadas na campanha de medição. A principal condição buscada foi a irradiação global, pois não há no software uma função que possa simular a curva de irradiação. Já para a temperatura ambiente é possível aproximar para uma curva linear e assim forçar uma condição de temperatura sobre a procedure do coletor. Devido à complexidade e imprecisão para realizar a medição de vazão mássica de um escoamento sob a condição de convecção natural para realizar a simulação do desempenho do coletor essa variável foi padronizada como um valor fixo de 147,6 kg/h. Essa condição não representa a realidade, pois a vazão do escoamento é função do gradiente de temperatura (INCROPERA; DEWITT, 2002), porém essa metodologia foi utilizada como simplificação. Utilizando a mesma procedure do modelo desenvolvido no TRNSYS, com os mesmos parâmetros de projeto, e os *inputs* determinados para condição de similaridade com a campanha de medição, obteve-se os dados da Figura 7.2. Analisando os dados pode-se observar que com uma temperatura ambiente atingindo o valor máximo de 24 °C, irradiação total de aproximadamente 1.000 W/m² e vazão de 147,6 kg/h o coletor simulado atinge a temperatura máxima de 48 °C.

Figura 7.2 – Dados de temperatura e irradiação simulados no TRNSYS.



Fonte: O autor.

Considerando que, foram necessárias algumas simplificações no modelo para que pudesse ser realizada a simulação no software, incertezas relacionadas à parâmetros de entrada, como a emissividade da superfície do coletor, incertezas relacionadas aos inputs, como vazão mássica e temperatura de céu, e incertezas relacionadas aos dados de medição é capaz de se considerar que um erro percentual de 7,69 % é aceitável para esse estudo de caso. Ou seja, tendo em vista que o objetivo desse trabalho é desidratar alimentos e que a faixa de operação de temperatura para o processo é entre 60°C e 70°C, uma diferença de 4°C não é representativa para inviabilizar o modelo.

8 DESIDRATAÇÃO DOS PRODUTOS AGRO ALIMENTÍCIOS

Realizadas as análises técnicas a respeito do desidratador híbrido solar, pode-se então examinar sobre o produto resultante da desidratação, exposto às condições limites de temperatura. Para o processo de desidratação foram submetidos dois produtos distintos, que fazem parte da produção da propriedade rural em estudo, são esses: Banana e pera. Como descrito na seção 3.1 deste trabalho, segundo a ANVISA, são considerados desidratados vegetais com percentual abaixo de 12% de umidade e frutas abaixo de 25%. Com base nessas informações, os produtos foram submetidos ao processo de desidratação e analisados após esse. A Figura 8.1 apresenta as condições dos produtos alimentícios após serem submetidos ao processo de secagem, ao longo de um dia ensolarado.

Figura 8.1 – Bananas e peras desidratadas



Fonte: O autor.

Para a avaliação dos alimentos desidratados foi utilizada a análise sensorial, que é obtida através da observação das propriedades sensoriais, como: cor, odor, gosto, textura e som (TEIXEIRA, 2009). Dessa forma, foram analisadas as propriedades de produtos desidratados industrialmente e comparados com os produtos secos no desidratador híbrido solar. Assim, realizando o processo de desidratação foram obtidos resultados satisfatórios após 5 horas de secagem para a banana e de 6 horas e 30 minutos para a pera.

9 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Tendo os aspectos técnicos acerca do projeto analisados, e considerando que o objetivo final desse trabalho é ter um produto que possa ser comercializado, foi realizada a análise de viabilidade econômica para o desidratador híbrido solar. Inicialmente foi realizado o levantamento dos produtos passíveis de serem desidratados que são produzidos na propriedade rural e posteriormente qual o retorno financeiro proveniente da venda de cada um desses. Tendo os valores de venda obtidos, foi desenvolvido o fluxo de caixa simples, que são as entradas e ou saídas de capital, o fluxo de caixa ajustado, que são as

entradas e ou saídas de capital corrigidos por uma taxa de juros e o fluxo de caixa descontado, que é o valor acumulado do investimento. Foi verificado também o *Payback*, que é o tempo de retorno do investimento inicial, o Valor Presente Líquido (VPL), que é o valor atual de todas as entradas e ou saídas na data focal zero utilizando uma taxa mínima de atratividade, Equação 9.1, e a Taxa Interna de Retorno (TIR), que é a taxa que faz a soma das entradas e saídas, levadas para a data focal zero, ser zero, Equação 9.2, segundo (DAL ZOT; CASTRO, 2015). Como base de comparação foram realizadas as mesmas análises de fluxo de caixa, *Payback*, VPL e TIR para um investimento conservador em um Certificado de Depósito Bancário (CDB).

$$VPL = \frac{R_0}{(1 + TMA)^0} + \frac{R_1}{(1 + TMA)^1} + \frac{R_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{R_{n-1}}{(1 + TMA)^{n-1}} + \frac{R_n}{(1 + TMA)^n} \quad (9.1)$$

$$VA_0 = \frac{R_0}{(1 + TIR)^0} + \frac{R_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{R_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{R_{n-1}}{(1 + TIR)^{n-1}} + \frac{R_n}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad (9.2)$$

Para projetar o ganho com a venda dos produtos desidratados verificou-se a produção de banana e pera, que é de 60 e 25 unidades por colheita, respectivamente. Como as bananas têm uma produção durante o ano inteiro a colheita é realizada com uma frequência de duas vezes ao mês. Já a pera, por ter uma sazonalidade de janeiro a abril, a frequência de colheita é mais intensa, chegando a dez vezes por mês. Foi definido, através da pesagem de uma amostra de 60 bananas e de 25 peras, o peso médio para a banana de 130,16 g e de 352,00 g para a pera. Com a quantidade de 120 bananas e 250 peras por mês e o peso médio de cada produto, pôde-se obter a produção mensal. Considerando a umidade *in natura* da banana de 71,73% (RIBEIRO *et al.*, 2012) e da pera de 82,46% (TAKAHASHI, 2005) e que as umidades após a desidratação são de 25% e 12%, respectivamente, obtém-se a produção mensal de produtos secos de 8,32 kg para bananas e 24,24 kg de peras. Realizando uma pesquisa de mercado, esses produtos são vendidos em média a R\$ 25,00/kg a banana e R\$ 60,00/kg a pera. Dessa forma, atingindo um ganho financeiro de R\$ 208,00 e R\$ 1.454,11, respectivamente.

Para realizar o fluxo de caixa foi considerado um custo de investimento com material de construção de R\$ 1.575,90, conforme APÊNDICE A, e mão de obra de R\$ 120 por dia durante catorze dias, resultando em um investimento inicial de R\$ 3.255,90, no tempo zero, em julho de 2018. Além disso, para a desidratação dos produtos é utilizada energia elétrica havendo assim um gasto com essa. Como o estudo de caso é em uma propriedade rural, Subgrupo B2, classe rural, a tarifa de energia elétrica é diferenciada com um desconto de 30% sobre a tarifa do subgrupo B1, classe Residencial, resultando em um custo de R\$0,35379/kWh, segundo Decreto nº 7.891, de 23 de janeiro de 2013. Já sobre os impostos à incidência de ICMS, alíquota de 12%, apenas sobre a componente da tarifa de energia (TE) do consumo, conforme Decreto nº 37.699, de 26 de agosto de 1997, porém PIS/COFINS incidem sobre todo o consumo, segundo as Leis nº 10.637, de 30 de dezembro de 2002, e nº 10.833, de 29 de dezembro de 2003. O consumo de energia elétrica foi superestimado considerando que as resistências elétricas (2.750 W) permanecessem ligadas durante todo o período de desidratação, desconsiderando a atuação do termostato. Além disso, foi utilizado um tempo de 8 horas por secagem e definidos dois consumos mensais devido a sazonalidade da produção, em que nos meses de janeiro a abril são produzidas bananas e peras, enquanto que de maio a dezembro apenas bananas. Foram estimados os reajustes sobre a energia elétrica para os anos de 2019, 2020 e 2021, obtidos através de uma regressão linear pelo método de mínimos quadrados, com base nas tarifas de energia elétrica para o Subgrupo B2, classe rural, dos últimos dez anos, resultando em -6,03 %, 4,05 % e 3,89 %, respectivamente. Como já dito anteriormente, os custos com energia elétrica foram divididos em dois períodos do ano conforme a sazonalidade das culturas, sendo assim o ganho com a venda dos produtos secos também resultou na mesma divisão, de janeiro a abril de R\$ 1.662,11 e de Maio a Dezembro de R\$ 208,00. Por fim, foram obtidos os valores projetados do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para os anos de 2018 e 2019, através do Relatório FOCUS disponibilizado pelo Banco Central do Brasil e criados três cenários para os anos de 2020 e 2021. Um cenário projeta uma perspectiva de controle da inflação, otimista, mantendo-a

em baixos patamares, resultando uma elevação de um ponto percentual por ano. O segundo cenário, intermediário, apresenta uma conjuntura de menor controle sobre a inflação, com uma elevação um pouco mais significativa de dois pontos percentuais. Já o terceiro cenário, pessimista, expõe uma situação de descontrole da inflação havendo uma elevação de três pontos percentuais ao ano. Esses valores de IPCA são utilizados no fluxo de caixa para reajustar o preço dos produtos desidratados todo início de ano, segundo o valor acumulado, para que não haja desvalorização do produto. Como o ano de 2018 tem apenas cinco meses de venda de produtos, para o ano de 2019 foi utilizado o percentual acumulado desses meses, já para os demais foi utilizado o percentual anual. Além da correção do preço dos produtos o IPCA foi utilizado, por ser o índice oficial da inflação, para trazer os valores futuros para o presente, obtendo o fluxo de caixa ajustado, como mostra a Tabela 9.1. Também foi considerado no fluxo de caixa o pagamento trimestral do Imposto de Renda (IR), nos meses de março, junho, setembro e dezembro, cuja alíquota é de 15% sobre o lucro auferido, conforme Lei nº 9.430, de 27 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996).

Tabela 9.1 – Fluxo de caixa simples, valor presente e descontado da venda dos produtos secos.

Cenário otimista			
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Valor Presente	Fluxo de Caixa Descontado
0	-R\$ 3.255,90	-R\$ 3.255,90	-R\$ 3.255,90
1	R\$ 6.734,81	R\$ 6.591,79	R\$ 3.335,89
2	R\$ 6.960,83	R\$ 6.538,88	R\$ 9.874,77
3	R\$ 7.305,24	R\$ 6.524,91	R\$ 16.399,69
Cenário intermediário			
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Valor Presente	Fluxo de Caixa Descontado
0	-R\$ 3.255,90	-R\$ 3.255,90	-R\$ 3.255,90
1	R\$ 6.734,81	R\$ 6.591,79	R\$ 3.335,89
2	R\$ 6.960,83	R\$ 6.527,03	R\$ 9.862,92
3	R\$ 7.370,81	R\$ 6.499,16	R\$ 16.362,07
Cenário pessimista			
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Valor Presente	Fluxo de Caixa Descontado
0	-R\$ 3.255,90	-R\$ 3.255,90	-R\$ 3.255,90
1	R\$ 6.734,81	R\$ 6.591,79	R\$ 3.335,89
2	R\$ 6.960,83	R\$ 6.515,31	R\$ 9.851,20
3	R\$ 7.436,39	R\$ 6.473,95	R\$ 16.325,16

Fonte: O autor.

Para realizar o comparativo entre dois investimentos, foi realizada a mesma análise financeira sobre uma aplicação em um CDB, com a maior rentabilidade disponível no mercado, cuja é de 124 % o Certificado de Depósito Interbancário (CDI), aplicando o valor do investimento inicial de R\$ 3.225,90, Tabela 9.2. Esses são títulos emitidos entre instituições financeiras, dentro do mercado interbancário, afim de transferir recursos de uma instituição que tem reservas para outra que necessita repor o caixa, segundo a empresa Rico. Para realizar a projeção dos três anos, foi utilizado a regressão linear pelo método de mínimos quadrados, com base nos dados dos últimos dez anos, para determinar os valores do CDI em 2018, 2019, 2020 e 2021, obtendo assim os valores de 0,889 %, 0,893 %, 0,897 % e 0,901 % ao mês, respectivamente. Nessa análise também foi considerada a desvalorização do dinheiro, utilizado o IPCA para trazer os valores futuros para valor presente, e o imposto de renda de 15% sobre o lucro auferido, segundo Lei nº 9.430, de 27 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996).

Tabela 9.2 – Fluxo de caixa simples, valor presente e descontado da aplicação em CDB.

Cenário otimista			
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Valor Presente	Fluxo de Caixa Descontado
0	R\$ 3.255,90	R\$ 3.255,90	R\$ 3.255,90
1	R\$ 385,67	R\$ 377,95	R\$ 3.633,85
2	R\$ 433,35	R\$ 407,68	R\$ 4.041,53
3	R\$ 487,17	R\$ 435,94	R\$ 4.477,46
Cenário intermediário			
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Valor Presente	Fluxo de Caixa Descontado
0	R\$ 3.255,90	R\$ 3.255,90	R\$ 3.255,90
1	R\$ 385,67	R\$ 377,95	R\$ 3.633,85
2	R\$ 433,35	R\$ 406,91	R\$ 4.040,76
3	R\$ 487,17	R\$ 430,51	R\$ 4.471,27
Cenário pessimista			
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Valor Presente	Fluxo de Caixa Descontado
0	R\$ 3.255,90	R\$ 3.255,90	R\$ 3.255,90
1	R\$ 385,67	R\$ 377,95	R\$ 3.633,85
2	R\$ 433,35	R\$ 406,15	R\$ 4.040,00
3	R\$ 487,17	R\$ 425,22	R\$ 4.465,23

Fonte: O autor.

Com os fluxos de caixa calculados, pôde-se analisar os investimentos e comparar um ao outro. Para realizar a escolha entre dois investimentos é possível utilizar três indicadores, são esses: *Payback*, VPL e TIR. Para a desidratação de produtos verificou-se os três indicadores, como mostra a Tabela 9.3. Já para o CDB, como não há um investimento inicial não tem-se um *Payback*, nem uma TIR, pois não há um valor negativo para ser somado às entradas e assim zerar o valor presente, obteve-se apenas o valor do VPL, Tabela 9.3.

Tabela 9.3 – Indicadores da análise de investimento.

Desidratador Híbrido Solar			
Indicador	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
<i>Payback</i>	6,58 meses	6,58 meses	6,58 meses
VPL	R\$ 16.399,69	R\$ 16.362,07	R\$ 16.325,16
TIR	14,57%	14,57%	14,56%
Certificado de Depósito Bancário (CDB)			
Indicador	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
<i>Payback</i>	-	-	-
VPL	R\$ 4.477,46	R\$ 4.471,27	R\$ 4.465,23
TIR	-	-	-

Fonte: O autor.

Com base nos indicadores da análise de investimento, pode-se afirmar que a aplicação de capital no desidratador de produtos agro alimentícios nesse estudo de caso é um bom investimento, posto que há o retorno do capital em menos de 7 meses, o VPL é mais de três vezes a aplicação em um investimento conservador do tipo CDB, e a TIR é consideravelmente acima da inflação projetada para o período.

10 CONCLUSÕES

10.1 Discussão

A cerca do estudo realizado nesse trabalho, considerando que a desidratação de produtos agro alimentícios é uma forma eficiente de reduzir as perdas dos alimentos, realizou-se a criação de um modelo de desidratador híbrido solar de baixo custo para um pequeno agricultor. Foi desenvolvido o modelo de desidratador, o tipo de coletor, o sistema auxiliar de aquecimento e o sistema de exaustão. Com base nas simulações realizadas no software TRNSYS foi dimensionado o sistema auxiliar e posteriormente construído o protótipo. Ao final foi elaborada uma análise de viabilidade do projeto considerando a venda dos produtos desidratados e comparado com uma aplicação financeira em CDB, utilizando indicadores de análise de investimento.

A fim de buscar obter um produto final de baixo custo, foi escolhido um *design* de desidratador do tipo torre, com convecção natural, posto que esse modelo é de fácil manuseio e não necessita de um sistema auxiliar de exaustão. O coletor solar tipo placa plana aletado foi desenvolvido com base em dois modelos distintos de coletor que obtiveram resultados expressivos no aproveitamento da energia solar. O sistema de resistências elétricas foi dimensionado no TRNSYS, a partir da simulação do coletor solar e da verificação de desempenho do mesmo durante o ano, com o intuito de que a temperatura na câmara de secagem se mantivesse em 65°C durante o processo de desidratação dos alimentos. Já a área de secagem foi projetada para atender à produção de bananas e peras de um pequeno produtor na região de Porto Alegre. Por fim, o telhado foi projetado de forma a favorecer a exaustão do ar úmido para fora da câmara de secagem.

Após projetar o desidratador, um protótipo foi construído na propriedade rural do estudo de caso e analisado o desempenho do mesmo sob as condições de um dia de inverno ensolarado. Dessa análise foi concluído que a simulação do coletor no TRNSYS foi adequada, segundo as restrições do modelo, que o coletor solar teve um desempenho elevado ao atingir uma temperatura do ar de saída de aproximadamente 52 °C, e que o sistema de aquecimento auxiliar foi dimensionado adequadamente, posto que o desidratador é do tipo híbrido. Após a verificação da efetividade do protótipo, foi realizada uma análise do retorno financeiro que a desidratação de bananas e peras traria ao produtor rural considerando gastos com investimento inicial e energia elétrica, correção de preços e inflação. Para a análise foi realizado três fluxos de caixa, simples, ajustado e descontado, para verificar os ganhos reais e o *Payback*. Através do VPL e da TIR obteve-se indicadores do investimento. Realizando as mesmas análises financeiras para um CDB, pôde-se verificar que o desidratador híbrido solar é um investimento mais atrativo e vantajoso que um investimento conservador de renda fixa.

Dessa forma, através das análises técnica e financeira esse trabalho evidencia que o investimento em um desidratador híbrido solar é adequado para um pequeno produtor rural, a fim de buscar maximizar os seus lucros, além de poder ser utilizado como forma de reduzir as perdas de produção. Portanto, esse estudo apresenta o ramo de produtos agro alimentícios desidratados como um segmento a ser desenvolvido e explorado por pequenos produtores rurais.

10.2 Trabalhos futuros

Visando o aperfeiçoamento deste estudo, em relação ao modelo de simulação é relevante o estudo e maior detalhamento acerca das propriedades dos elementos do coletor, além de aprimoramento da *procedure* do coletor para que a mesma represente fielmente o circuito do coletor. Em relação ao protótipo cabe a substituição das estruturas em madeira por materiais que sejam mais adequados às boas práticas dos alimentos, como o Aço inoxidável. Para a campanha de medições convém realizá-la por um período maior de amostragem, afim de obter um banco de comparação com mais dados e que tenham maior representatividade do desempenho do protótipo. Já para a análise do produto desidratado é interessante realizar a análise físico-química para determinar os teores de umidades e ter maior exatidão sobre os períodos de secagem de cada produto.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 5410-2008:instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2008.

ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução cnmpa nº 12, de 1978**. Anvisa, 1978. p. 49–51. Disponível em:
<http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12_78.pdf>.

ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução rdc nº 272, de 22 de setembro de 2005 ementa**. 2005. Disponível em:
<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/ac09380047457ea18a84de3fbc4c6735/RDC_272_2005.pdf?MOD=AJPERES>.

BASSO, D. M. **Simulação do sistema de aquecimento de ar de um secador solar híbrido de produtos agroalimentícios usando o trnsys**. Dissertação – (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2017. Disponível em:
<<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001025068&loc=2017&l=b84e29e817f833c6>>.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Empresa brasileira de pesquisa agropecuária**, 2010. n. 2176–5081, p. 50.

DENG, J. *et al.* Validation of a simple dynamic thermal performance characterization model based on the piston flow concept for flat-plate solar collectors. **Solar energy**, 2016. v. 139, p. 171–178.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes solar engineering**. Wiley: 4ª edição, 2013.

FAO, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Food wastage footprint. impacts on natural resources. summary report**, 2013.

FOOD INGREDIENTS, B. Alimentos desidratados. **Food ingredients brasil**, 2013. v. 26, p. 58–73.

FOX, R. W. *et al.* **Introdução à mecânica dos fluidos**. LTC, 8ª edição, 2014.

GABAS, A. L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. Dissertação – (Mestrado em Engenharia). Universidade Estadual de Campinas, 1998.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. LTC, 6ª edição, 2002.

KOYUNCU, T. Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications. **Renewable energy**, 2006. v. 31, n. 7, p. 1073–1088.

RIBEIRO, L. R. *et al.* Caracterização física e química de bananas produzidas em sistemas de cultivo convencional e orgânico. **Revista brasileira de fruticultura**, 2012. v. 34, n. 3, p. 774–782. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452012000300017&lng=pt&tlng=pt>.

- ROJAS, E. **Energia solar térmica**. 2013. p. 320. Disponível em: <http://www.marcombo.com/Energia-solar-termica_isbn9788426715586.html>.
- TAKAHASHI, M. S. **Cinética da concentração osmótica de pêra**. 2005. p. 23–31.
- TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Revista do instituto de laticínios cândido testes**, 2009. v. 64, n. 366, p. 12–21.
- UNITED NATIONS DESA / POPULATION DIVISION. World population prospects. 2017. v. II. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/>>.
- CALLISTER, W. D. J.; RETHWISCH, D. G.. Materials science and engineering: an introduction. **Materials & design**, 2010. p. 885.
- DAL ZOT, WILI ALBERTO BRANCKS; CASTRO, MANUELA LONGONI DE. **Matemática financeira: fundamentos e aplicações**. Bookman, 1ª edição, 2015.
- BRASIL. Decreto Nº 7.891, de 23 de Janeiro de 2013. Estabelece a redução na tarifa à unidade consumidora classificada como rural. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 23 de Janeiro de 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/d7891.htm.
- BRASIL. Lei Nº 10.637, de 30 de Dezembro de 2002. Dispões sobre a cobrança de contribuição para os Programas de Integração Social (PIS) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 30 de Dezembro de 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10637.htm.
- BRASIL. Lei Nº 10.833, de 29 de Dezembro de 2003. Altera a Legislação Tributária Federal e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 29 de Dezembro de 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2003/110.833.htm.
- BRASIL. Lei Nº 9.430, de 27 de Dezembro de 1996. Dispõe sobre a legislação tributária federal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 27 de Dezembro de 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/19430.htm.
- RIO GRANDE DO SUL. Decreto Nº 37.699, de 26 de Agosto de 1997. Aprova o Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**. Poder Executivo, Rio Grande do Sul, RS, 26 de Agosto de 1997. Disponível em: <http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/Site/Document.aspx?inpKey=109362>.
- CELESTINO, S. M. C. **Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamentos concorrentes**: secagem de sementes de soja. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.
- KLEIN, S.A. et al, 2016, TRNSYS 17: **A Transient System Simulation Program**, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.
- METEOTEST, 2007. **Meteonorm: Dados meteorológicos**. Disponível em: <http://www.meteonorm.com/>.

APÊNDICE A – Materiais utilizados para a construção do protótipo.

Lista de Compras			
Produto	Quantidade	Valor	Total
Tábua de madeira (2,8m)	5	R\$ 6,50	R\$ 32,50
Sarrafo de madeira (2,8m)	7	R\$ 2,00	R\$ 14,00
Chapa de aço (1mx1m)	3	R\$ 33,33	R\$ 100,00
Chapa de aço (2mx1m)	1	R\$ 75,00	R\$ 75,00
Cantoneira de aço (1mx0,05mx0,02m)	40	R\$ 6,90	R\$ 276,00
Tinta preta (1L)	2	R\$ 28,00	R\$ 56,00
Aguarras (1L)	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Fundo Galvanizado (1L)	1	R\$ 34,00	R\$ 34,00
Rolo Poliester	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Trincha	1	R\$ 11,00	R\$ 11,00
Lixa (150)	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
Parafuso	15	R\$ 0,30	R\$ 4,50
Dobradiça	3	R\$ 2,15	R\$ 6,45
Cano PVC (m)	1	R\$ 6,00	R\$ 6,00
Durepox (50g)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Resistência	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
Cabo EPR (4mm ²)	20	R\$ 2,50	R\$ 50,00
Eletroduto (m)	10	R\$ 1,65	R\$ 16,50
Disjuntor (2 polos, 16A)	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Caixa de disjuntor	1	R\$ 15,50	R\$ 15,50
Isolador de cerâmica	3	R\$ 4,50	R\$ 13,50
Silicone (280g)	1	R\$ 6,70	R\$ 6,70
Termostato	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Tijolo inteiro	260	R\$ 0,43	R\$ 110,50
Tijolo metade	20	R\$ 0,43	R\$ 8,50
Areia (m ³)	0,5	R\$ 130,00	R\$ 65,00
Cimento (50kg)	3	R\$ 31,25	R\$ 93,75
Cal (25kg)	1	R\$ 9,50	R\$ 9,50
Vidro (2mx1m)	1	R\$ 320,00	R\$ 320,00
Telha fibrocimento	6	R\$ 7,00	R\$ 42,00
TOTAL			R\$ 1.575,90