



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE
SECAGEM SOLAR EM REGIÕES COM CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS
DISTINTAS**

NANCY LIMA COSTA

CAMPINA GRANDE – PB

2022

NANCY LIMA COSTA

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE
SECAGEM SOLAR EM REGIÕES COM CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS
DISTINTAS**

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de doutora em Engenharia de Processos.

Orientador: **Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo**

CAMPINA GRANDE – PB

2022

C837d Costa, Nancy Lima.

Desenvolvimento e análise experimental de um sistema de secagem solar em regiões com condições meteorológicas distintas / Nancy Lima Costa. – Campina Grande, 2022.

239 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo".

Referências.

1. Energia Solar. 2. Planejamento Experimental Fatorial. 3. Unidade Dessecante. 4. Secagem de Frutas. 5. Abacaxi. I. Grilo, Marcelo Bezerra. II. Título.

CDU 66.047:634.774(812/813)(043)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE NANCY LIMA COSTA, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

Tese de doutorado apresentada e aprovada em 22 de fevereiro de 2022.



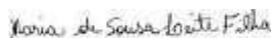
Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo
Orientador – UFCG



Prof. Dr. Acácio Figueredo Neto
Examinador Externo – UNIVASF



Prof. Dr. Claudemiro de Lima Junior
Examinador Externo – UPE



Profa. Dra. Maria de Sousa Leite Filha
Examinadora Externa – UFCG



Profa. Dra. Vera Solange de Oliveira Farias
Examinadora Interna – UFCG

CAMPINA GRANDE – PB

2022

DEDICATÓRIA

A voinha Lourdes, sem ela nada disso teria sido possível.

A voinha Mercês (*in memoriam*) uma das minhas primeiras alunas.

AGRADECIMENTOS

Esta tese, bem como toda a minha caminhada até aqui só foi possível devido a entidades, pessoas e intuições às quais deixo registrado o meu muito obrigada.

A Deus.

A mainha, painho, tia, Nei, Ane e meus afilhados pelo incentivo e por compreenderem a minha ausência.

Ao meu orientador, Dr. Marcelo Grilo pelos ensinamentos acadêmicos e principalmente por ressaltar a importância de preservar a humanidade na academia.

Aos amigos Leonardo, Tiêgo e Érick por terem me proporcionado um lar em Campina Grande.

Aos colegas do GEDS/LEMT/UFCG que me auxiliaram na compreensão e construção do ser uma engenheira. Em particular, aos meus queridos Jonas Fernandes e Maria Filha com quem compartilhei medos, angústias e risadas.

A UPE *campus* Petrolina e aos colegas do colegiado de Matemática, pela liberação integral das atividades durante a realização do doutorado.

Ao prof. Dr. Claudemiro de Lima e pelos integrantes do Laboratório de Física e Energias Renováveis da UPE *campus* Petrolina pelo suporte na finalização da construção do equipamento e na realização dos testes experimentais em Petrolina.

Aos professores do programa de pós-graduação em Engenharia de Processos pelos ensinamentos.

Ao coordenador do program Dr Antônio Gilson e a secretária Fátima pela atenção e disponibilidade durante a realização do curso.

“Você não sabe o quanto eu caminhei
Pra chegar até aqui
Percorri milhas e milhas antes de dormir
Eu nem cochilei
Os mais belos montes escalei
Nas noites escuras de frio chorei ei ei ei”
(Paulo Gama / Toni Garrido / Lazao / Bino Farias)

RESUMO

O Nordeste brasileiro destaca-se, entre outros aspectos, pela produção de frutas e pela disponibilidade de energia solar. No entanto, a produção de frutas secas nessa região do país ainda não é expressiva. Na busca de alinhar essas potencialidades, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar experimentalmente, nas cidades de Campina Grande - PB e Petrolina - PE, um sistema de secagem solar para frutas que atenda a diferentes condições meteorológicas e climáticas para obter máximo rendimento térmico. O sistema de secagem foi testado experimentalmente na secagem de abacaxi. Como metodologia, foi utilizado o planejamento experimental fatorial para determinar a melhor configuração do sistema de secagem para as condições meteorológicas de Petrolina e Campina Grande em diferentes estações do ano. Foram delineadas, como variáveis independentes: o tipo de cobertura e a utilização de dessecante. O tempo de secagem para que o abacaxi atingisse o teor de umidade em base úmida de 25% foi adotado como variável de resposta. A análise das cinéticas de secagem foi feita para os modelos matemáticos de dois termos, de Lewis e de Page. O sistema de secagem solar desenvolvido foi construído com materiais de baixo custo, facilmente encontrados no comércio local, como forma de garantir um equipamento que possa ter sua tecnologia disseminada e que atenda à demanda dos produtores da região. Os principais resultados obtidos, após a realização dos testes experimentais no outono/inverno e na primavera/verão, apontaram a cobertura plana e a utilização da unidade dessecante como as variáveis, estatisticamente, mais significativa na redução do tempo de secagem, nos experimentos realizados nas duas cidades, havendo uma redução média de 60 min no tempo de secagem do abacaxi. No outono/inverno, o tempo médio de secagem no sistema com cobertura plana e unidade dessecante foi, aproximadamente, de 490 min (8 h e 15 min) em Petrolina e 660 min (11 h) em Campina Grande. Já no sistema de secagem com cobertura convexa e unidade dessecante o tempo médio de secagem foi de 720 min (12 h) em Petrolina e 630 min (10 h e 30 min) em Campina Grande. Na primavera/verão, o tempo médio de secagem no sistema com cobertura plana e unidade dessecante foi de 420 min (7 h) em Petrolina e 600 min (10 h) em Campina Grande. Por sua vez, no sistema de secagem com cobertura convexa e unidade dessecante foi necessário 480 min (8 h) em Petrolina e 660 min (11 h) em Campina Grande, para que as amostras de abacaxi atingissem o teor de umidade desejado. O modelo de Page apresentou, em geral, o melhor ajuste aos dados experimentais; foi obtido coeficiente de correlação médio (R^2) superior a 97,37% em todos os sistemas de secagem nas duas localidades. A partir do cálculo do rendimento térmico, foi possível concluir que os maiores valores para o rendimento térmico, em geral, são obtidos no período entre 11 h e 14 h em todos os sistemas de secagem, independente do local de realização dos experimentos. Em geral, as maiores médias para o rendimento térmico foram observadas no sistema de secagem com cobertura plana e com unidade dessecante, sendo 47,73% em Campina Grande (no outono/inverno); 46,19% em Petrolina (na primavera/verão) e 43,73% em Campina Grande (na primavera/verão).

Palavras-chave: Energia Solar. Planejamento Experimental Fatorial. Unidade Dessecante. Secagem de Frutas. Abacaxi.

ABSTRACT

The Brazilian Northeast stands out, among other aspects, for its fruit production and the availability of solar energy. However, the production of dried fruits in this region of the country is still not expressive. In the search to align these potentialities, the objective of this work was to develop and test experimentally, in the cities of Campina Grande - PB and Petrolina - PE, a solar drying system for fruits that meets different meteorological and climatic conditions to obtain maximum thermal efficiency. The drying system was experimentally tested in pineapple drying. As a methodology, factorial experimental design was used to determine the best configuration of the drying system for the meteorological conditions of Petrolina and Campina Grande in different seasons of the year. The type of coverage and the use of desiccant were delineated as independent variables. The drying time for the pineapple to reach a moisture content of 25% on a wet basis was adopted as the response variable. The analysis of drying kinetics was performed using two-term mathematical models, Lewis and Page. The solar drying system developed was built with low-cost materials, easily found in local commerce, as a way of guaranteeing equipment that can have its technology disseminated and that meets the demand of producers in the region. The main results obtained, after carrying out the experimental tests in autumn/winter and spring/summer, pointed to the flat cover and the use of the desiccant unit as the most statistically significant variables in the reduction of drying time, in the experiments carried out in the two cities, with an average reduction of 60 min in pineapple drying time. In autumn/winter, the average drying time in the system with flat roof and desiccant unit was approximately 490 min (8 h and 15 min) in Petrolina and 660 min (11 h) in Campina Grande. In the drying system with convex cover and desiccant unit, the average drying time was 720 min (12 h) in Petrolina and 630 min (10 h and 30 min) in Campina Grande. In spring/summer, the average drying time in the system with flat roof and desiccant unit was 420 min (7 h) in Petrolina and 600 min (10 h) in Campina Grande. In turn, in the drying system with convex cover and desiccant unit, it took 480 min (8 h) in Petrolina and 660 min (11 h) in Campina Grande, for the pineapple samples to reach the desired moisture content. Page's model presented, in general, the best fit to the experimental data; an average correlation coefficient (R^2) higher than 97,37% was obtained in all drying systems in both locations. From the calculation of the thermal yield, it was possible to conclude that the highest values for the thermal yield, in general, are obtained in the period between 11 am and 2 pm in all drying systems, regardless of the place where the experiments were carried out. the highest averages for the thermal efficiency were observed in the drying system with flat cover and with desiccant unit, being 47,73% in Campina Grande (in autumn/winter); 46,19% in Petrolina (in spring/summer); and 43,73% in Campina Grande (in spring/summer).

Keywords: Solar Energy. Factorial Experimental Planning. Desiccant Unit. Fruit drying. Pineapple.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1:	Radiação global solar diária – Média anual típica	34
Figura 2.2:	Aplicações da energia solar	35
Figura 2.3:	Espectro eletromagnético	37
Figura 2.4:	Estações do ano	38
Figura 2.5:	Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes da atmosfera	38
Figura 2.6:	Propriedades da irradiação	39
Figura 2.7:	Produção brasileira de abacaxi por região fisiográfica	41
Figura 2.8:	Fluxo de processamento de frutas secas	43
Figura 2.9:	Esquema da composição mássica de produtos agrícola	44
Figura 2.10:	Fluxograma classificação dos secadores solares	48
Figura 2.11:	Secador solar de exposição direta.	51
Figura 2.12:	Secador solar de exposição direta (tambor metálico)	50
Figura 2.13:	Secador Solar de exposição direta (estudo comparativo)	51
Figura 2.14:	Coletor com cobertura de vidro	52
Figura 2.15:	Coletor com cobertura de policarbonato	53
Figura 2.16:	Coletor com formato hexagonal	53
Figura 2.17:	Secador solar desenvolvido por Gomes	54
Figura 2.18:	Secador solar desenvolvido por Nunes	54
Figura 2.19:	Secador solar desenvolvido por Melo	55
Figura 2.20:	Secador híbrido	55
Figura 2.21:	Secador solar otimizado por Gomes	56
Figura 2.22:	Secador de exposição direta com unidade de dessecante	56
Figura 2.23:	Etapas do processo de desumidificação a base de dessecantes	59
Figura 2.24:	Otimização do sistema de secagem solar com acoplamento de unidade de adsorção	60
Figura 2.25:	Secador solar com dessecante sólido.	61
Figura 2.26:	Sistema de secagem contínuo	62

Figura 2.27:	Número de patentes por país	64
Figura 3.1:	Protótipo secador solar com cobertura plana	69
Figura 3.2:	Protótipo secador solar cobertura conexa	70
Figura 3.3:	Construção do coletor solar	71
Figura 3.4:	Unidade Dessecante	73
Figura 3.5:	Isotermas de adsorção para o vapor de água em sílica gel	74
Figura 3.6:	Arduino e DHT22 utilizados no SMAD	76
Figura 3.7:	Sistema de medição e aquisição de dados (SMAD)	77
Figura 3.8:	Posicionamento do DHT22 no sistema de secagem	77
Figura 3.9:	Estação meteorológica LABMET UNIVASF <i>Campus Juazeiro</i>	78
Figura 3.10:	Estação meteorológica do LEIAM/CEEI/UFCG	78
Figura 3.11:	Confecção dos sistemas de secagem solar	80
Figura 3.12:	Abacaxi pérola adquirido no mercado local	81
Figura 3.13:	Variáveis do planejamento experimental fatorial	82
Figura 3.14:	Fluxograma do planejamento experimental fatorial	82
Figura 3.15:	Anemômetro utilizado	85
Figura 3.16	Representação esquemática do volume de controle	87
Figura 4.1:	Experimento SSI xSSII (25 e 26/03/2021)	93
Figura 4.2:	Irradiação global diária em Petrolina (25 e 26/03/2021)	93
Figura 4.3:	Temperatura do ar no SSI x SSII (25 e 25/03/2021)	94
Figura 4.4:	Umidade relativa do ar no SSI x SSII (25 e 26/03/2021)	95
Figura 4.5:	Amostras de abacaxi durante o processo de secagem	96
Figura 4.6:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (25 e 26/03/2021).	96
Figura 4.7:	Condições psicrométricas do ar no SSplano (25 e 26/02/2021)	97
Figura 4.8:	Experimento SSIII x SSIV (13 e 14/04/21)	98
Figura 4.9:	Irradiação global diária em Petrolina (13 e 14/04/2021)	99

Figura 4.10:	Temperatura do ar no SSIII x SSIV (13 e 14/04/2021)	100
Figura 4.11:	Umidade relativa do ar no SSIII x SSIV (13 e 14/04/2021)	101
Figura 4.12:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (13 e 14/04/2021)	102
Figura 4.13:	Condições psicrométricas do ar no SSconvexo (13 e 14/04/2021)	103
Figura 4.14:	Experimento SSIII x SSIV (03, 04 e 06/05/2021)	104
Figura 4.15:	Irradiação global diária em Campina Grande (03, 04 e 06/05/2021)	105
Figura 4.16:	Temperatura do ar no SSIII x SSIV (03, 04 e 06/05/2021).	106
Figura 4.17:	Umidade relativa do ar no SSIII x SSIV (03, 04 e 06/05/2021)	107
Figura 4.18:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (03, 04 e 06/05/2021)	108
Figura 4.19:	Condições psicrométricas do ar no SSconvexo (03, 04 e 06/05/2021)	109
Figura 4.20:	Experimento SSI x SSII (08 e 10/05/2021)	110
Figura 4.21:	Irradiação global diária em Campina Grande (08 e 10/05/2021)	110
Figura 4.22:	Temperatura do ar no SSI x SSII (08 e 10/05/2021).	111
Figura 4.23:	Umidade relativa do ar no SSI x SSII (08 e 10/05/2021)	112
Figura 4.24:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (08 e 10/05/21)	113
Figura 4.25:	Condições psicrométricas do ar no SSplano (08 e 10/05/2021)	114
Figura 4.26:	Experimento SSI xSSIII (28/09/21)	116
Figura 4.27:	Irradiação global diária em Petrolina (28/09/2021)	115
Figura 4.28:	Temperatura do ar no SSI x SSIII (28/09/2021)	117
Figura 4.29:	Umidade relativa do ar no SSI x SSIII (28/09/2021)	118
Figura 4.30:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (28/09/2021)	119
Figura 4.31:	Condições psicrométricas do ar no SSI x SSIII (28/09/2021)	120
Figura 4.32:	Experimento SSII x SSIV (30/09/21)	121
Figura 4.33:	Irradiação global diária em Petrolina (30/09/2021)	121
Figura 4.34:	Temperatura do ar no SSII x SSIV (30/09/2021)	123
Figura 4.35:	Umidade relativa do ar no SSII x SSIV (30/09/2021)	122
Figura 4.36:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (30/09/2021)	124

Figura 4.37:	Condições psicrométricas do ar no SSII e SSIII (30/09/2021).	125
Figura 4.38:	Regeneração da sílica gel por meio da energia solar	126
Figura 4.39:	Experimento SSI x SSIII (21/10/21)	127
Figura 4.40:	Irradiação global diária em Campina Grande (12 e 22 /10/2021)	128
Figura 4.41:	Temperatura do ar no SSI x SSIII (28/09/2021)	129
Figura 4.42:	Umidade relativa do ar no SSII x SSIV (21 e 22/10/2021)	129
Figura 4.43:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (21 e 22/10/21)	130
Figura 4.44:	Condições psicrométricas do ar no SSII x SSIV (21 e 22/11/2021)	131
Figura 4.45:	Experimento SSI x SSIII (25/10/21)	132
Figura 4.46:	Irradiação global diária em Campina Grande (25 e 26/10/2021)	133
Figura 4.47:	Temperatura do ar no SSI x SSIII (25 e 26/10/2021)	134
Figura 4.48:	Umidade relativa do ar no SSII x SSIV (30/09/2021)	135
Figura 4.49:	Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (25 e 26/10/21)	136
Figura 4.50:	Condições psicrométricas do ar no SSI e SSIII (25 e 26/10/2021)	137
Figura 4.51:	Avaliação das variáveis significativas (outono/inverno)	140
Figura 4.52:	Superfície de resposta – Petrolina (outono/inverno)	141
Figura 4.53:	Superfície de contorno – Petrolina (outono/inverno)	142
Figura 4.54:	Avaliação das variáveis significativas (outono/inverno)	144
Figura 4.55:	Superfície de resposta – Campina Grande (outono/inverno)	145
Figura 4.56:	Superfície de contorno – Campina Grande (outono/inverno)	146
Figura 4.57:	Avaliação das variáveis significativas (primavera/verão)	148
Figura 4.58:	Superfície de resposta – Petrolina (primavera/verão)	149
Figura 4.59:	Superfície de contorno – Petrolina (primavera/verão)	150
Figura 4.60:	Avaliação das variáveis significativas (primavera/verão).	152
Figura 4.61:	Superfície de resposta (primavera/verão)	153
Figura 4.62:	Superfície de contorno (primavera/verão)	154
Figura 4.63:	Interface do software CATT3	155
Figura 4.64	Rendimento térmico SSI x SSII em Petrolina - PE (25 e 26/03/2021)	156

Figura 4.65	Rendimento térmico SSI x SSII em Campina Grande - PB (08 e 10/05/2021)	157
Figura 4.66	Rendimento térmico SSIII x SSIV em Petrolina - PE (13 e 14/04/2021)	158
Figura 4.67	Rendimento térmico SSIII x SSIV em Campina Grande - PB (03, 04 e 06/05/2021).	158
Figura 4.68	Rendimento térmico SSI X SSIII em Petrolina (28 e 29/09/2021)	159
Figura 4.69	Rendimento térmico SSI X SSIII em Campina Grande (25 e 26/10/2021)	160
Figura 4.70	Rendimento térmico SSII XSSIV em Petrolina (30/09/2021)	160
Figura 4.71	Rendimento térmico SSII xSSIV em Campina Grande(21 e 22/10/2021)	161
Figura 4.72	Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Petrolina (outono/inverno)	165
Figura 4.73	Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Petrolina (outono/inverno)	167
Figura 4.74	Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Petrolina (outono/inverno)	167
Figura 4.75	Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Petrolina (outono/inverno)	168
Figura 4.76	Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Campina Grande (outono/inverno)	168
Figura 4.77	Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Campina Grande (outono/inverno)	169
Figura 4.78	Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Campina Grande (outono/inverno)	169
Figura 4.79	Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Campina Grande (outono/inverno)	170
Figura 4.80	Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Petrolina (primavera/verão)	172
Figura 4.81	Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Petrolina (primavera/verão)	172
Figura 4.82	Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Petrolina (primavera/verão).	173

Figura 4.83	Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Petrolina (outono/inverno)	173
Figura 4.84	Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Campina Grande (primavera/verão)	174
Figura 4.85	Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Campina Grande (primavera/verão)	174
Figura 4.86	Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Campina Grande (primavera/verão)	175
Figura 4.87	Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Campina Grande (primavera/verão)	175

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Principais informações nutricionais do abacaxi in natura	41
Tabela 2.2:	Sistema de secagem x Rendimento térmico	49
Tabela 2.3:	Registro de patentes	64
Tabela 2.4:	Número de patentes por década	65
Tabela 3.1:	Irradiação solar diária média [kW/m ²]	68
Tabela 3.2:	Características construtivas e dimensionais do sistema de secagem	72
Tabela 3.3:	Classificação dos sistemas de secagem com convecção forçada	73
Tabela 3.4:	Tipos de sílica gel	75
Tabela 3.5:	Matriz do planejamento experimental	84
Tabela 3.6:	Modelos matemáticos para prever a secagem de produtos agrícolas	89
Tabela 4.1:	Matriz do planejamento experimental fatorial (outono/inverno)	139
Tabela 4.2:	Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental 2 ² (outono/inverno).	139
Tabela 4.3:	ANOVA - Petrolina (outono/inverno)	141
Tabela 4.4:	Matriz do planejamento experimental fatorial em Campina Grande (outono/inverno).	143
Tabela 4.5:	Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental 2 ² (outono/inverno).	143
Tabela 4.6:	ANOVA – Campina Grande (outono/inverno)	145
Tabela 4.7:	Matriz do planejamento experimental fatorial em Petrolina (primavera/verão)	147
Tabela 4.8:	Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental em Petrolina (primavera/verão)	147
Tabela 4.9:	ANOVA - Petrolina (primavera/verão)	149
Tabela 4.10:	Matriz do planejamento experimental fatorial (primavera/verão)	151
Tabela 4.11:	Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental 2 ² (primavera/verão)	151

Tabela 4.12	ANOVA - Campina Grande (primavera/verão)	153
Tabela 4.13	Resumo tempo de secagem e rendimento térmico	162
Tabela 4.14	Parâmetros e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos ajustados às curvas de secagem (outono/inverno)	165
Tabela 4.15	Parâmetros e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos ajustados às curvas de secagem (primavera/verão).	171

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CATT	<i>Computer Aided Thermodynamic Table</i>
CERESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organização da Agricultura e Alimentação)
GEDS	Grupo de Pesquisa em Energia e Desenvolvimento Sustentável
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LEMT	Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Painel de Fibra de Média Densidade)
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
TACO	Tabela de Composição de Alimentos
T	Temperatura
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UPE	Universidade de Pernambuco
UR	Umidade relativa
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i> (Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos)
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i> (Organização Mundial da Propriedade Intelectual)

LISTA DE NOMENCLATURA

A	Área de cobertura transparente	[m ²]
c_p	Calor específico do fluido de trabalho	[J/kg°C]
EC_e	Energia cinética na entrada do volume de controle	[J]
EC_s	Energia cinética na saída do volume de controle	[J]
EP_e	Energia potencial na entrada do volume de controle	[J]
EP_s	Energia potencial na saída do volume de controle	[J]
g	Aceleração gravitacional	[m/s ²]
h	Entalpia; ($h = u + pv$)	[kJ/kg]
h_e	Entalpia na entrada do volume de controle	[kJ/kg]
h_s	Entalpia na saída do volume de controle	[kJ/kg]
h_v	Entalpia de vaporização da água	[kJ/kg]
G	Irradiação solar média incidente	[W/m ²]
$m_{H_2O_i}$	Massa de água contida no produto antes do processo de secagem	[kg]
$m_{H_2O_f}$	Massa de água contida no produto depois do processo de secagem	[kg]
m_{H_2O}	Massa de água contida no produto	[kg]
m_{ms}	Massa de matéria seca	[kg]
m_{msi}	Massa inicial de matéria seca	[kg]
m_{msf}	Massa final de matéria seca	[kg]
m_{ti}	Massa inicial total do produto	[kg]
m_t	Massa total do produto	[kg]
$m_{inicial}$	Massa inicial do produto	[kg]
m_{final}	Massa final do produto	[kg]
$m_{total\ água}$	Massa total de água presente no produto a ser secado	[kg]
\dot{m}	Vazão mássica do fluido de trabalho	[kg/s]
\dot{m}_e	Vazão mássicas instantâneas na entrada do volume de controle	[kg/s]
\dot{m}_s	Vazão mássica instantânea na saída do volume de controle	[kg/s]
\dot{m}_{va}	Massa de água retirada do produto no período de tempo	[kg/s]
Q_{vc}	Taxa de transferência de calor ao longo da fronteira (superfície de controle) do volume de controle	[J/s]

RX	Razão de umidade	[adim]
t	Tempo	[min]
T	Temperatura	[°C]
UR	Umidade relativa	[%]
<i>vc</i>	Volume de controle	
X	Teor de umidade (base seca)	[decimal]
X _e	Teor de umidade de equilíbrio (base seca)	[decimal]
X ₀	Teor de umidade inicial (base seca)	[decimal]
<i>X_{bsi}</i>	Teor de umidade inicial (base seca)	[decimal]
<i>X_{bsf}</i>	Teor de umidade final (base seca)	[decimal]
<i>X_{bu}</i>	Teor de umidade (base úmida)	[decimal]
<i>X_{bs}</i>	Teor de umidade (base seca)	[decimal]
<i>W_{vc}</i>	Taxa de transferência por trabalho ao longo da fronteira (superfície de controle) do volume de controle	[J/s]

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Objetivos	28
1.1.1	Objetivo geral	28
1.1.2	Objetivos específicos	28
1.2	Justificativa da escolha do tema	29

CAPÍTULO II

2	REFERENCIAIS TEÓRICOS	33
2.1	Energia solar	33
2.2	Radiação térmica	36
2.3	Fruticultura	39
2.3.1	O produto a ser seco: o abacaxi	40
2.4	Frutas secas	42
2.5	Secagem	44
2.5.1	O equipamento	46
2.5.2	Secador solar	47
2.5.3	Estudo da arte: secador solar de exposição direta	49
2.5.3.1	Secador solar desenvolvido pelo GEDS	52
2.6	Desumidificação do ar	58
2.6.1	Sistema de secagem utilizando dessecante sólido	59
2.7	Prospecção tecnológica	63

CAPÍTULO III

3	MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1	Caracterização dos locais de realização do experimento	67
3.2	Posicionamento do sistema de secagem	68

3.3	Descrição do protótipo	69
3.3.1	Características do dessecante utilizado	73
3.4	Medição e aquisição de dados	76
3.5	Procedimentos experimentais	79
3.6	Planejamento experimental fatorial	81
3.7	Rendimento térmico	84
3.8	Determinação da cinética de secagem	89

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	92
4.1	Testes experimentais realizados no outono/inverno	92
4.1.1	Testes experimentais realizados em Petrolina	92
4.1.2	Testes experimentais realizados em Campina Grande	104
4.2	Testes experimentais realizados na primavera/verão	115
4.2.1	Testes experimentais realizados em Petrolina	115
4.2.2	Testes experimentais realizados em Campina Grande	127
4.3	Planejamento experimental fatorial	138
4.3.1	Planejamento experimental fatorial (outono/inverno)	138
4.3.1.1	Planejamento Experimental fatorial em Petrolina	138
4.3.1.2	Planejamento Experimental fatorial em Campina Grande	142
4.3.2	Planejamento experimental fatorial (primavera/verão)	146
4.3.2.1	Planejamento Experimental fatorial em Petrolina	147
4.3.2.2	Planejamento Experimental fatorial em Campina Grande	150
4.4	Avaliação do rendimento térmico	154
4.5	Avaliação da cinética de secagem do abacaxi	163

CONCLUSÕES	177
-------------------	-----

REFERÊNCIAS	179
--------------------	-----

APÊNDICE A - Dados dos experimentos realizados no verão 2021	192
APÊNDICE B - Dados dos experimentos realizados no outono 2021	208
APÊNDICE C - Rendimento térmico (primavera/verão)	224
APÊNDICE D - Rendimento térmico (outono/inverno)	232

Capítulo I
INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de manipulação das fontes de energia como garantia de sobrevivência humana remonta a mais antiga Era Histórica conhecida da humanidade, a Pré-história. Desde então, o homem observou na natureza formas de energia que lhe permitissem manter, prolongar e tornar mais confortável a sobrevivência.

O desenvolvimento cultural da humanidade foi acompanhado da evolução na utilização das fontes naturais de energia — fato que ocorreu desde a descoberta do fogo — favorecendo a fixação de sua moradia em cavernas em função da possibilidade de manter iluminados e aquecidos seus abrigos e do processamento de seus alimentos (assar a caça); passando pelo aproveitamento do vento como força motora nas navegações e moinhos e da água na geração de energia elétrica, entre outros.

Assim, a energia passou a ser uma das principais forças motrizes do desenvolvimento econômico de um país, mas, só a partir dos séculos XVII e XVIII, com o desenvolvimento da máquina a vapor e do motor de combustão interna, é que foi verificado um verdadeiro avanço no incremento significativo de potência das máquinas, atrelado à elevação do consumo de combustíveis, até então limitado às atividades domésticas, como aquecimento e preparação de alimentos (GRILO, 2007).

A evolução tecnológica levou o homem a um consumo cada vez maior de energia e recursos naturais em todas as formas disponíveis e com notável crescimento do consumo de combustíveis fósseis, cujo crescimento exponencial iniciou-se com a Revolução Industrial e, como bem se sabe, não parou e nem dá sinais de que possa diminuir, definindo, assim, uma matriz energética amplamente baseada no petróleo (GRILO et al., 2007).

No entanto, as reservas desses combustíveis são finitas e, quando consideradas as reservas conhecidas e o ritmo de crescimento do consumo, já se prevê sua total exaustão e, conseqüentemente, o surgimento de políticas de substituição das fontes energéticas de origem fóssil por fontes renováveis. Destas, a utilização de energias renováveis de origem solar e eólica ganha cada vez mais prestígio no mundo pós-moderno.

Logo, há uma consciência crescente de que as energias renováveis têm um papel importante a desempenhar na disseminação de tecnologias apropriadas para fomentar a

produção agrícola. Nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), existe certo consenso com relação ao uso de energias classificadas como “limpas”, ou renováveis e de baixo impacto ambiental como, por exemplo, a eólica e a solar, tendo sido concedidos incentivos públicos que estimularam a realização de investimentos maciços na última década para a implantação dessas fontes.

A substituição das fontes de energia de origem fóssil pelas renováveis encontra-se entre as principais questões da agenda internacional das políticas públicas como, por exemplo, nos documentos gerados pela Organização das Nações Unidas (ONU); pelo Banco Mundial (BM); pela OCDE; pela Agência Internacional de Energia (AIE); pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), e de tantas outras instituições públicas dedicadas à análise e proposição de políticas voltadas para o desenvolvimento.

O uso tecnológico de fontes renováveis tem aprimorado o conceito de sustentabilidade e auxiliado a vida do homem no campo. Com esses avanços, têm se tornado frequentes as inovações nos diversos setores sociais, sendo inevitável o uso da tecnologia de fontes energéticas renováveis que possam auxiliar os produtores rurais no desenvolvimento das suas atividades (ARABHOSSEINI et al., 2019).

Optar pelas energias renováveis já é viável técnica e economicamente. Atualmente, os processos e equipamentos possuem um grau elevado de confiabilidade e qualidade, além de terem uma implementação rápida e fácil, reforçando, portanto, o quanto estamos vivendo em um cenário totalmente favorável à energia renovável.

O desenvolvimento de projetos que atendam às necessidades sociais e econômicas de uma comunidade, respeitando os recursos naturais e privilegiando a eficiência energética de um sistema, deve ser o foco principal do conhecimento científico empregado por um engenheiro nos tempos modernos, principalmente em países como o Brasil, que estão geograficamente posicionados numa zona de excepcional disponibilidade de energia solar. Desse modo, o progresso de forma sustentável representa a melhor alternativa para inserção num mercado cada vez mais competitivo, pois tem o desafio de promover a mobilidade social e, para isso, precisa incentivar seu desenvolvimento tecnológico (GOMES e GRILO, 2015; ANANNO et al., 2020).

No anseio de possibilitar um maior desenvolvimento regional, este trabalho representa o interesse em disseminar a utilização de novas tecnologias nos processos de secagem de alimentos do setor da fruticultura, viabilizando a produção e comercialização de um produto de boa qualidade e alto valor agregado.

A escolha do setor frutífero decorre da sua importância no cenário econômico do Nordeste brasileiro e por este ser uma das principais fontes de vitaminas na nutrição humana. A utilização do secador solar terá como finalidade uma melhor conservação dos produtos, permitindo a qualidade na oferta de alimentos por longos períodos, mesmo em épocas de entressafra e, conseqüentemente, uma comercialização mais lucrativa (CHABANE et al., 2019; GOMES, 2021).

O Brasil é considerado um país industrializado e que ocupa um dos primeiros lugares em produção agrícola. A agricultura brasileira vem, desde sempre, obtendo resultados expressivos ano após ano, sendo considerada um dos pilares da economia do país.

As frutas têm um papel fundamental na cadeia produtiva de alimentos, sendo de grande importância em todo o mundo no que se refere aos aspectos social, econômico e alimentar. A fruticultura possibilita a exploração intensiva de áreas produtivas, tornando-as lucrativas, gerando grande quantidade de postos de trabalho, com uma grande quantidade de mão de obra aplicada (LIMA, 2017).

No entanto, todas as etapas do processo produtivo agrícola mundial (produção, pós-colheita, armazenamento e transporte) apresentam altas taxas de desperdícios de alimentos, seja por sua deterioração ou pelo mau aproveitamento do seu poder nutritivo. A cada ano, cerca de 1,3 bilhões de toneladas de alimentos são desperdiçadas no mundo, o que corresponde a um custo estimado de US\$ 680 bilhões para os países industrializados e US\$ 310 bilhões para os países em desenvolvimento (FAO, 2016).

No Brasil, a realidade não é diferente, pois cerca de 45% das frutas produzidas são desperdiçadas desde o plantio até a comercialização. Dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação classifica o Brasil como um dos dez países que mais desperdiçam alimentos – são quase 10 milhões de toneladas de comida que vão, literalmente, para a lata do lixo todos os anos (FAO, 2016).

Os secadores solares são uma alternativa para a produção de alimentos desidratados e com vistas a ser utilizado, principalmente, em comunidades carentes e no ambiente da agricultura familiar, sendo, também, uma opção de geração de emprego e renda para essas pessoas a partir da produção e comercialização desses produtos na forma desidratada.

Dessa forma, o secador solar caracteriza-se como um equipamento que contribui para promover o desenvolvimento sustentável, pois garante crescimento econômico para os

produtores rurais e, conseqüentemente, sua ascensão socioeconômica sem prejuízo das condições ambientais existentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver e testar experimentalmente, nas cidades de Campina Grande - PB e Petrolina - PE, um sistema de secagem solar para frutas que atenda às condições meteorológicas diferenciadas para obter o máximo desempenho.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Desenvolver um sistema de secagem para frutas, usando energia solar como principal fonte de energia (a ser testado na secagem de abacaxi);
- ✓ Desenvolver e implementar um sistema de medição e aquisição de dados (SMAD) das seguintes propriedades do ar de secagem: temperatura e umidade relativa do ar;
- ✓ Realizar testes experimentais nas cidades de Campina Grande - PB e Petrolina - PE, que contemplem os períodos de maior e menor intensidade de radiação solar para observar a influência dos dados meteorológicos locais no desempenho do sistema de secagem (rendimento térmico e tempo de secagem) nos sistemas de secagem com e sem unidade dessecante;

- ✓ Utilizar o planejamento experimental fatorial para identificar as variáveis mais significativas para a determinação das condições ótimas para o secador solar em Campina Grande - PB e Petrolina - PE;
- ✓ Realizar testes experimentais nas cidades de Campina Grande - PB e Petrolina - PE na secagem de abacaxi para obter a curva experimental da cinética de secagem;
- ✓ Calcular o rendimento térmico dos sistemas de secagem desenvolvidos e comparar os resultados obtidos com os sistemas de secagem equivalentes;
- ✓ Mostrar na carta psicrométrica os principais estados e processos termodinâmicos do ar de secagem no sistema de secagem solar, com dessecante e sem dessecante.

1.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

O desenvolvimento de secadores solares cada vez mais eficientes e acessíveis aos pequenos agricultores vem sendo objeto de estudo de várias instituições internacionais e brasileiras. No Nordeste brasileiro, destacam-se os trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Energia e Desenvolvimento Sustentável (GEDS), da UFCG, que há mais de 10 anos vem desenvolvendo e testando sistemas de secagem solar construídos com materiais de baixo custo, sustentáveis e de fácil manutenção. Na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) e na Universidade Federal de Sergipe (UFS), ocorre o desenvolvimento e aprimoramento de diversos secadores solares usando materiais sustentáveis, obtendo-se resultados promissores.

Os secadores desenvolvidos pelo GEDS vêm sendo experimentados na secagem de frutas, principalmente banana prata (*Musa Spp*). A escolha por frutas é devido à relevância da fruticultura para a economia do Nordeste, principalmente para a agricultura familiar. Muitos desses secadores já são empregados na secagem de frutas em pequenas comunidades produtoras rurais no estado da Paraíba. O produto seco pode ser comercializado como fruta seca ou inseridos de outras formas na alimentação.

Para que o processo de secagem ocorra de forma eficiente, é necessário considerar alguns parâmetros básicos no projeto do secador solar, como por exemplo: as dimensões e os materiais empregados nos secadores; a temperatura, a velocidade e a umidade relativa do ar de secagem; e as características dos produtos a serem secos (SILVEIRA, 2016). Entre os parâmetros elencados, a temperatura do ar de secagem é a variável de maior importância e influência no processo. Além desses, a umidade e velocidade do ar também são fatores importantes para melhorar a taxa de secagem (MACÍAS-GANCHOZO et al., 2018).

Diante do exposto, os protótipos desenvolvidos pelo GEDS, no Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da UFCG, vêm apresentando inovações acerca dos parâmetros citados, as quais têm tornado os equipamentos mais eficientes. Nos experimentos realizados em Campina Grande - PB, os valores médios da temperatura e umidade relativa do ar de secagem obtidos na entrada da câmara de secagem em secadores solares de exposição indireta nas pesquisas desenvolvidos por Nunes (2016), Melo (2016) e Lima (2017) foram, respectivamente: 47,71; 52,38 e 49,96°C, e 24; 19,25 e 30,65%. No experimento com um secador de exposição indireta, realizado por Morais et al. (2019), em Juazeiro - BA, a temperatura média do ar na entrada da câmara de secagem foi de 46,7±1°C.

De acordo com a literatura, a secagem de frutas em estufas ocorre sob a temperatura média de 55 ±15°C e velocidade constante 1 ±0,5 m/s (HOFSKY, 2009; NUNES et al., 2013; MELO et al., 2018). Sarpong et al. (2018) recomendam que a umidade relativa do ar de secagem seja de 20 ±10%. Quintero (2007) acrescenta que a temperatura mais indicada para secar frutas deve ser a 60°C, em uma velocidade de ar de 1,5 m/s, por considerar essa faixa a menos prejudicial à qualidade sensorial e nutricional das frutas.

Nesse contexto, buscou-se desenvolver um secador solar de exposição direta que tenha como características inovadoras uma cobertura curva para uma melhor recepção da irradiação solar e a utilização da sílica gel como dessecante do ar de secagem. Com essas estratégias, o protagonismo desta pesquisa será para a redução da umidade relativa do ar de secagem, a qual será feita por meio da utilização de uma unidade dessecante instalada na entrada do secador solar; e para a cobertura com a utilização de cobertura convexa. Ambos devem ser responsáveis pelo aumento do rendimento térmico do equipamento e redução do tempo de secagem.

A opção pela realização da pesquisa experimental deu-se porque a concepção de secagem solar ainda é uma mistura de ciência experimental e teórica (SILVEIRA, 2016). Para avaliar o comportamento do secador solar em condições climáticas distintas, serão realizados

testes em dois municípios produtores de frutas com características meteorológicas distintas, com potencial para a utilização de energia solar térmica e demanda de tecnologias de baixo custo, acessíveis a pequenos agricultores.

Capítulo II
REFERENCIAIS TEÓRICOS

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Neste capítulo, será feita uma abordagem sobre a fonte de energia primária utilizada no equipamento proposto, a saber, a energia solar; a importância da fruticultura para o Brasil e, em particular, a produção de abacaxi; e o processo de secagem, dando ênfase à secagem solar.

Além disso, também serão abordados aspectos relacionados às inovações do desenvolvimento dos secadores solares. Para tal, foram realizadas uma prospecção tecnológica nos principais bancos de patentes e um levantamento nos principais bancos de dados acerca do uso de dessecante.

2.1 ENERGIA SOLAR

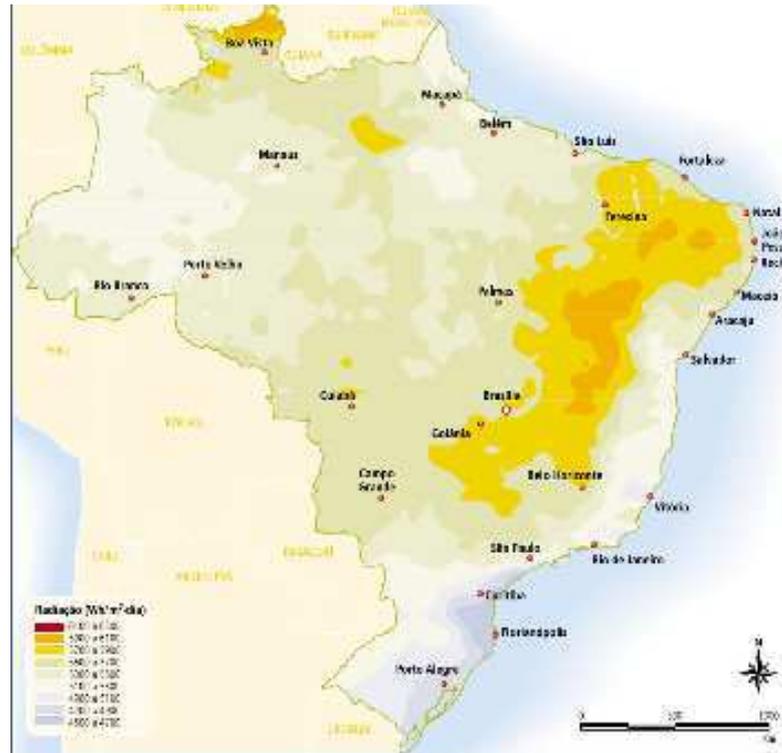
O desenvolvimento da humanidade está diretamente associado às fontes de energia. Dentre elas, o Sol assume um protagonismo diferenciado. Segundo Grilo (2007), a energia solar é a “mãe” de quase todas outras fontes de energia. É a partir da energia do sol que as plantas e os animais se desenvolvem e são seus resíduos que geram as fontes de energia não renováveis, tais como: petróleo, carvão e gás natural. Além disso, a radiação solar induz a movimentação do ar ambiente, gerando os ventos que são usados na energia eólica; e promove a evaporação das águas, possibilitando o ciclo das águas e, como consequência, a energia hidrelétrica.

Diante do cenário de aquecimento global, elevação nos preços de combustíveis fósseis e escassez de recursos naturais, a energia solar ganha destaque e tem se tornado uma das melhores alternativas para a geração de energia, porque é limpa, renovável e abundante. De acordo com Jacob (2016), a energia solar recebida pela Terra, ao longo de um ano, é cerca de $1,74 \times 10^{11}$ GWh, sendo que o consumo energético anual da população mundial atinge a marca de $1,5 \times 10^8$ GWh. Desse modo, pode-se inferir que a energia solar incidente no planeta Terra é, aproximadamente, mil vezes maior que o consumo de energia da humanidade.

Entre as regiões com maior incidência de radiação solar, destacam-se a América do Sul, a África e a Austrália, com uma soma anual de 1826 kWh/m² a 2264 kWh/m² de radiação solar em seu território.

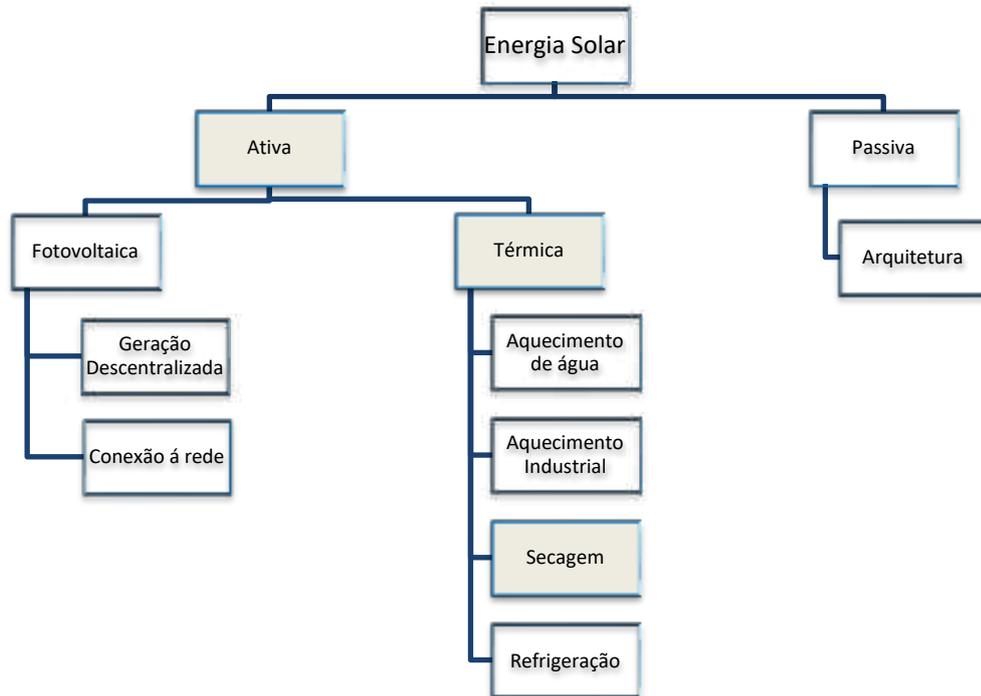
O Brasil, por ser um país intertropical, apresenta uma boa uniformidade de radiação solar e média relativamente alta, como ilustrado na Figura 2.1. Além disso, os maiores índices de radiação são observados na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco (PEREIRA et al., 2017).

Figura 2.1: Radiação solar global diária – Média anual típica.



Fonte: Pereira et al (2017).

Pereira et al. (2017) ressaltam que até as regiões com menores índices de radiação solar apresentam um grande potencial de aproveitamento energético em diversas áreas. Conforme Pereira et al. (2003), as aplicações da energia solar podem ser divididas basicamente em dois grandes grupos: energia solar ativa e energia solar passiva, conforme apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2: Aplicações da energia solar.

Fonte : Adaptado Pereira et al (2003).

A energia solar passiva é utilizada nos projetos de Arquitetura, com foco no conceito de aproveitamento das condições ambientais locais, economia de energia e água, privilegiando a ventilação e a iluminação natural e o aproveitamento da água da chuva. É a chamada “arquitetura verde”, cada vez mais utilizada por arquitetos e engenheiros.

A energia solar térmica (ou fototérmica) converte, de maneira direta, por meio dos coletores e concentradores, a energia solar em calor para o aquecimento de fluidos em geral, principalmente aquecimento de água utilizada em substituição ao chuveiro elétrico e no aquecimento do ar ambiente usado nos processos de secagem.

A energia fotovoltaica converte, de maneira direta, através da radiação incidente em painéis fotovoltaicos, a energia solar em energia elétrica. Essa é a forma mais nobre de aplicação de energia solar, mas que demanda um investimento inicial elevado.

2.2 RADIAÇÃO TÉRMICA

Segundo Incropera (2008), todos os corpos com temperatura não nula emitem radiação e seu transporte não exige a presença de um meio material. Quanto à natureza desse transporte, ela pode ser vista como um pacote de partículas conhecidas como *fotóns* ou *quanta*, ou através da propagação de ondas eletromagnéticas. Independentemente da forma de transporte, é atribuída à radiação as propriedades das ondas, com frequências (ν) e comprimentos de onda (λ). A relação entre a frequência e o comprimento de onda é dada pela Equação 1.

$$c = \lambda \nu \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

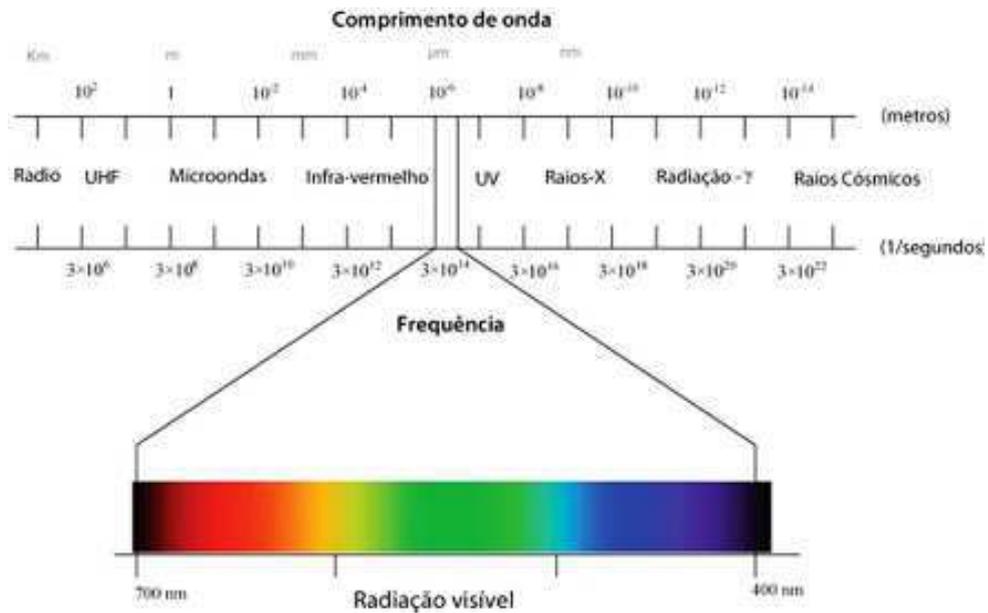
c é a velocidade de propagação da luz igual a 3×10^8 m/s;

λ é o comprimento de onda em μm ;

ν é a frequência em Hz.

As frequências de radiação estão representadas no espectro eletromagnético ilustrado na Figura 2.3. De acordo com Caramalho (2012), a única diferença entre as regiões, designadas de bandas é o comprimento das ondas.

Figura 2.3: Espectro eletromagnético.



Fonte: Rodrigues e Brizola (2019).

A disponibilidade do recurso energético solar e sua variabilidade espacial e temporal estão intrinsecamente relacionadas a conceitos astronômicos, como a posição relativa entre o Sol e a Terra e o movimento aparente da Terra; e a processos físicos, como o comportamento de diferentes comprimentos de onda da radiação ao interagir de forma distinta com os constituintes atmosféricos, sofrendo processos de absorção e espalhamento.

A radiação incidente sobre a superfície terrestre está diretamente associada à duração do dia, e esta, por sua vez, está relacionada às estações do ano. Por convenção astronômica, as estações são determinadas pelo momento em que o Sol, durante seu movimento, atinge a maior declinação em latitude medida a partir da linha imaginária do Equador, fenômeno denominado solstício; e o instante em que o Sol, em sua órbita aparente, cruza o Equador terrestre, fenômeno denominado equinócio, ilustrado na Figura 2.4. No período de equinócio, a duração do dia é igual à duração da noite. Nesse período, a radiação solar incide com a mesma intensidade sobre os dois hemisférios (PEREIRA et al., 2017).

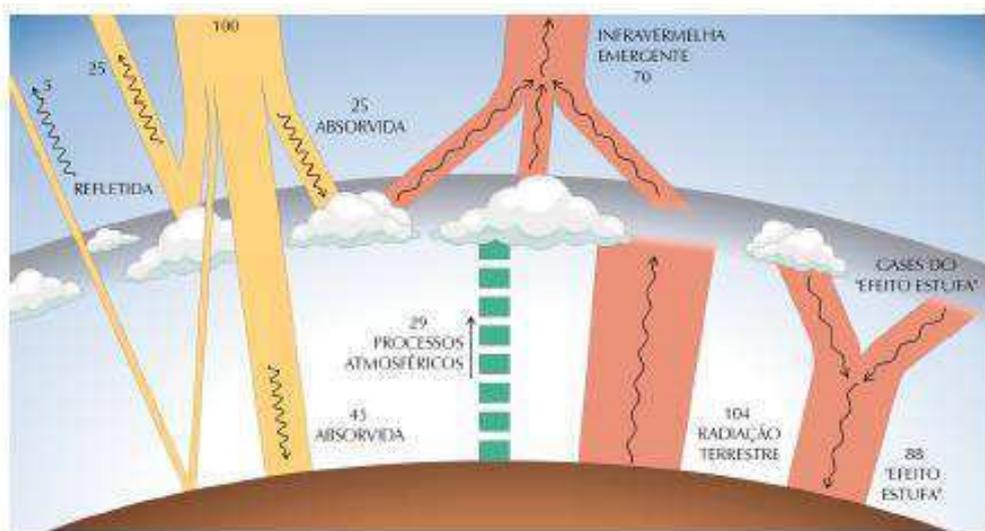
Figura 2.4 Estações do ano.



Fonte: Pereira et al. (2017).

A Figura 2.5 ilustra os processos físicos de espalhamento e absorção da irradiação solar produzidos pelos constituintes da atmosfera e pela superfície da Terra. Estes processos alteram o espectro eletromagnético da radiação solar ao longo de seu percurso pela atmosfera. Aproximadamente 25% da radiação solar incide na superfície da Terra sem nenhuma interferência (PEREIRA et al., 2003).

Figura 2.5: Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes da atmosfera.

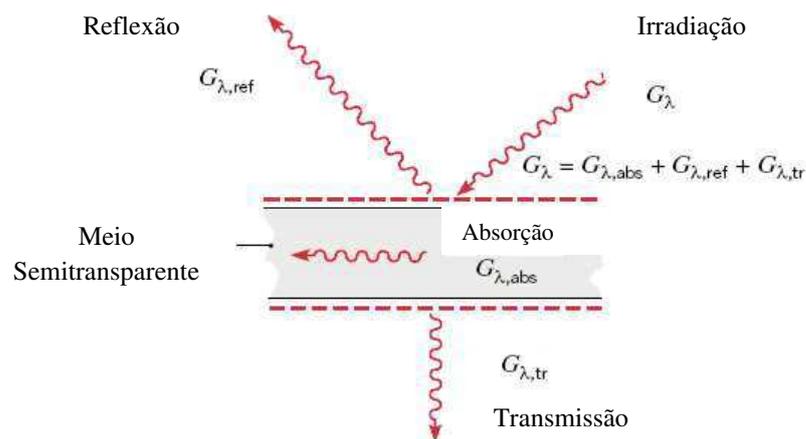


Fonte: Pereira et al. (2003).

A radiação solar que chega à superfície pode ser decomposta em planos. O plano horizontal, considerado a radiação global, é a soma das radiações direta e difusa e o plano inclinado que, além das componentes direta e difusa, tem o acréscimo de uma parcela de irradiação refletida na superfície dos elementos ao redor (CROTTO e RAMPINELL, 2018). O conhecimento da radiação direta é essencial para a avaliação e detalhamento da eficiência e performance de qualquer sistema de energia solar (GRILO, 2007).

Conforme Incropera (2008), a taxa na qual a radiação de comprimento de onda λ incide sobre uma superfície por uma unidade de área da superfície e por uma unidade de intervalo de comprimento de onda no entorno de λ é chamada irradiação espectral $G_\lambda (W/m^2 \cdot \mu m)$. Ao interagir com um meio semitransparente, como água ou policarbonato, parte da irradiação pode ser refletida, absorvida e transmitida, conforme ilustrado na Figura 2.6.

Figura 2.6: Propriedades da irradiação.



Fonte: Adaptado Incropera (2008).

2.3 FRUTICULTURA

O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas e as mais produzidas são laranja, banana, açaí, uva e abacaxi, com participação de 4,8% na produção mundial (FAO, 2016; IBGE, 2017). A fruticultura tem um papel socioeconômico relevante no agronegócio brasileiro, pois representa 6 milhões de empregos diretos, ou 27% do total gerado pela produção agrícola nacional.

As regiões tradicionais de cultivo, como São Paulo e Minas Gerais, vêm perdendo espaço para polos emergentes, como Rio Grande do Norte, Ceará, Vale do São Francisco, região de Irecê e da Chapada Diamantina, na Bahia, devido ao aumento no preço da terra e a demanda de mão de obra. Por sua vez, o crescimento dos polos emergentes está relacionado a condições climáticas e relevo, uso de tecnologias, valor da terra, incentivos fiscais e a própria expansão da demanda (ABF, 2018).

Segundo dados da Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (2017), mais de 50% dos alimentos que compõem a cesta básica brasileira, entre eles legumes e frutas, são provenientes de sistemas de agricultura familiar. Nesse sistema, a produção agrícola é realizada com poucos recursos financeiros devido ao baixo poder aquisitivo dos agricultores familiares (BRAGA et al., 2015). Para incentivar o crescimento da agricultura familiar no país, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e alta eficiência voltada para o cultivo, processamento, armazenamento e distribuição da produção agrícola.

2.3.1 O produto a ser seco: o abacaxi

O abacaxizeiro (*Ananas comosus L., Merrill*) é uma planta da família *Bromeliaceae*, cuja provável origem seja as zonas central e sul do Brasil, o nordeste da Argentina e o Paraguai (SOUZA et al, 2000). O abacaxi é um fruto tropical bastante demandado no mercado de frutas, sendo o Brasil o segundo maior produtor com uma produção de 1,5 bilhões de abacaxis por ano, ficando atrás apenas da Tailândia (IBGE, 2017). O Nordeste detém a maior participação na produção de abacaxi dentre as regiões brasileiras, conforme a Figura 2.7.

Figura 2.7: Produção brasileira de abacaxi por região fisiográfica.



Fonte: Produção Agrícola Municipal, IBGE (2017).

Os maiores produtores estaduais de abacaxi do País são: Pará com 426,8 milhões de frutos; Paraíba com 334,8 milhões de frutos; e Minas Gerais com 192,2 milhões de frutos. (IBGE, 2018).

A produção comercial de abacaxi é baseada nas variedades *Smooth Cayenne* (popularmente conhecido como “Abacaxi Havaiano”), *Pérola* (também conhecido como “Pernambucano” ou “Branco de Pernambuco”), *Queen* e *Singapore Spanish*. A variedade mais produzida e consumida no Brasil é a *Pérola*.

O abacaxi destaca-se pelo valor energético, devido à sua alta composição de açúcares, valor nutritivo, presença de sais minerais e de vitaminas, como apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Principais informações nutricionais do abacaxi *in natura*

Quantidade por porção (100g)	
Valor energético	48 kcal = 202 kJ
Carboidratos	12,3 g
Fibra alimentar	1,0 g
Vitamina C	34,6 mg
Potássio	131,0 g

Fonte: Adaptado Tabela brasileira de composição de alimentos (TACO), 2011.

Outra característica relevante do abacaxi é o elevado teor de umidade, que varia de 85,4 a 86,3 g/100 g da polpa *in natura* (TACO, 2011; IBGE, 2015).

O teor de umidade está associado à estabilidade microbiológica e qualidade de um produto agrícola, podendo afetar o processamento e armazenamento. Produtos armazenados com alto teor de umidade deterioram-se rapidamente, diminuindo assim o tempo de prateleira. Como o abacaxi não amadurece após a colheita, faz-se necessária sua colheita após seu completo desenvolvimento fisiológico. Os frutos devem ser colhidos em estágios de maturação diferentes, de acordo com sua destinação e a distância do mercado consumidor (GOMES, 2015).

O processamento do abacaxi é uma alternativa para o aproveitamento de excedentes de frutos *in natura* fora dos padrões comerciais, o aumento do tempo de conservação e comercialização dos produtos, a agregação de valor e a exploração de novos mercados. Os principais produtos obtidos pelo processamento do abacaxi são abacaxi em calda, suco, néctar, geléia, doce crislizado, abacaxi liofilizado e abacaxi-passa. Vale ressaltar que o processamento, em geral, altera o valor nutricional do abacaxi, por exemplo, na elaboração do abacaxi-passa ocorre a concentração de açúcares e carotenoides (Embrapa, 2013).

2.4 FRUTAS SECAS

A fruta seca (ou passa) é definida como o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura (inteira ou em pedaços) através de processos tecnológicos adequados, de modo que possua, no máximo, 25% de umidade em base úmida (RDC/ANVISA nº272).

A produção das frutas secas é uma alternativa para o aproveitamento dos excedentes da fruticultura, aumentando o tempo de prateleira e agregando valor ao produto, além de gerar empregos e renda. As frutas secas podem ser comercializadas para consumo direto, ou como ingrediente de outros produtos alimentícios (GERMER et al., 2012).

Segundo dados do IBGE, de 2010 para 2011, a produção de frutas secas, desidratadas ou liofilizadas saltou de 11,1 milhões de quilos para 26,8 milhões de quilos, respectivamente. Um dos fatores que tem impulsionado o consumo de frutas secas é a demanda crescente dos consumidores por produtos de rápida e prática preparação e consumo. Aliado a isso, estes

produtos ainda se apresentam como compactos e fáceis de manipular e transportar, possuindo ainda um valor nutricional concentrado (MACHADO et al., 2012).

A produção de frutas secas segue uma sequência de etapas, descritas na Figura 2.8.

Figura 2.8: Fluxo de processamento de frutas secas.



Fonte: Adaptado de Fonseca (2016).

A seguir, são apresentados aspectos de algumas etapas mencionadas:

- ✓ Recomenda-se a escolha de frutas de maior importância econômica, sendo as mais adequadas para o processamento a banana, a uva, a ameixa, a manga, a maçã e o abacaxi. Além disso, as frutas devem ser coletadas em estado ótimo de maturação para não se apresentarem com baixo sabor e/ ou baixa doçura (GOMES, 2015; FONSECA, 2016);
- ✓ Para uma lavagem eficiente, deve-se seguir três etapas: lavagem com detergente para retirar-se as sujeiras da superfície da fruta; o enxágue com água limpa para retirar resíduos; e a passagem de sanitizantes com exposição variando entre 1 a 15min, a depender do tipo de fruta (KOPF, 2008);
- ✓ O descascamento das frutas não é etapa fundamental, essa etapa dependerá do tipo e finalidade da fruta (ALMEIDA et al., 2012; GOMES; e GRILO, 2015);
- ✓ O corte é uma etapa essencial para algumas frutas; entretanto, existem aquelas na qual o mesmo é dispensado. O tamanho dos pedaços, após o corte, deve ser o mais uniforme possível para que a secagem também ocorra de forma uniforme (KOPF, 2008; MACHADO et al., 2012);
- ✓ O processo de branqueamento melhora a estabilidade da composição do produto durante os posteriores processos de secagem, além de fixar a coloração e intensificar a tonalidade da mesma, dentre outras vantagens. Esse processo pode ser realizado com

água quente, vapor ou químico, sendo este último o mais recomendado para frutas (KOPF, 2008; CELESTINO, 2010).

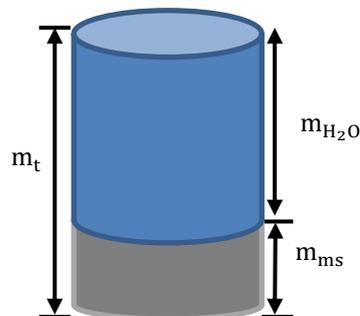
A seguir, será abordada a etapa de processamento das frutas secas que assume papel central nesse trabalho: a secagem e, mais especificamente, a secagem utilizando energia solar.

2.5 SECAGEM

A secagem é uma operação simultânea de transferência de calor e massa, envolvendo a remoção da água do produto. Na secagem de alimentos — em particular, de frutas — a redução da quantidade de água ocorre até um nível no qual seu metabolismo e /ou dos microrganismos a ele associados sejam minimizados (LIMA, 1999).

A composição mássica dos produtos agrícolas é formada por fração de massa de matéria seca e outra de massa de água, conforme ilustrado na Figura 2.9.

Figura 2.9: Esquema da composição mássica de produtos agrícola.



Deste modo,

$$m_t = m_{H_2O} + m_{ms} \quad (\text{Equação 2})$$

onde,

m_t - massa total do produto [g];

m_{H_2O} - massa de água contida no produto [g];

m_{ms} - massa de matéria seca do produto [g].

A remoção de água durante o processo de secagem é calculada em função dos teores de umidade inicial e final do produto a ser seco e da massa total do produto no início do processo. O teor de umidade pode ser expresso em relação à massa de matéria seca ou em relação à massa total do produto a ser seco, como é expresso pelas Equações 3 e 4.

$$X_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \quad (\text{Equação 3})$$

$$X_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{ms}} \quad (\text{Equação 4})$$

onde,

X_{bu} - teor de umidade em base úmida [adimensional];

X_{bs} - teor de umidade em base seca [adimensional].

Em geral, utiliza-se o teor de umidade em base úmida em situações comerciais, como no critério de classificação de frutas secas da Anvisa; e o teor de umidade em base seca é utilizado em trabalhos científicos, como na modelagem matemática da cinética de secagem.

Diante disso, em determinadas situações, a conversão do teor de umidade em base seca para o teor de umidade em base úmida, e vice-versa, faz-se necessário. A conversão pode ser feita por meio das Equações 5 e 6:

$$X_{bu} = \frac{X_{bs}}{1 + X_{bs}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$X_{bs} = \frac{X_{bu}}{1 - X_{bu}} \quad (\text{Equação 6})$$

Admitindo que apenas a água é removida no processo de secagem, a massa de matéria seca mantém-se constante durante o processo de secagem, ou seja:

$$m_{ms_i} = m_{ms_f} \quad (\text{Equação 7})$$

Segue das equações 5 e 2:

$$m_{ms_f} = \frac{m_{t_i}}{1 + X_{bs_i}} \quad (\text{Equação 8})$$

Portanto, a massa de água removida durante o processo de secagem é dada pela Equação 9:

$$m_{H_2O_i} - m_{H_2O_f} = \frac{m_{t_i}}{1 + X_{bs_i}} \cdot (X_{bs_i} - X_{bs_f}) \quad (\text{Equação 9})$$

2.5.1 O equipamento

O secador é o aparelho usado na redução da umidade dos produtos pela ação do calor (GRILLO, 2007). Existe uma grande variedade de equipamentos e processos de secagem. Dentre os diversos tipos de secadores de produtos agrícolas, eles diferem, basicamente, pelo método de operação.

Park et al. (2007) classificam os secadores com base no método de operação em secador de batelada e secador contínuo. Nos secadores de batelada (ou descontínuos), o produto é depositado no secador até que o processo de secagem seja concluído. Já nos secadores contínuos, os produtos a serem secos são depositados no secador de forma que, durante o processo de secagem, o produto possa ser retirado continuamente até atingir o teor de umidade desejado.

A secagem pode ser realizada desde a forma natural até por meio de formas mais sofisticadas, como a liofilização (GUIMARÃES, 2011). A secagem de produtos agrícolas ao sol de forma natural, também chamada de secagem ao ar livre, por ser uma técnica de baixo custo, é o método mais tradicional empregado na maioria dos países em desenvolvimento. Contudo, esse processo pode resultar em produtos de qualidade inferior, devido à dependência das condições meteorológicas, poeira, sujeiras e ao ataque de insetos, pragas e micro-organismos.

Em contrapartida, o uso de métodos convencionais, como estufas e fornos que utilizam como fonte de energia a eletricidade e combustíveis fósseis, têm apresentado custos muito elevados, principalmente devido à crise energética e ao aumento do preço dos combustíveis fósseis, exigindo a busca de novas metodologias (FALCÃO FILHO, 2011). Nesse contexto, a utilização de secador solar vem ganhando destaque por ser um equipamento de baixo custo, acessível e que utiliza fonte de energia livre, renovável e de baixo custo.

2.5.2 Secador solar

A secagem utilizando a energia solar ao ar livre, popularmente chamada de secagem em terreiros, é uma técnica antiga utilizada até hoje. Nesse tipo de secagem, o produto agrícola fica exposto às condições ambientais, à ação de insetos e animais, e não há controle de fluxo de ar, temperatura e umidade.

Para contornar essas dificuldades, Evertit e Stanley desenvolveram, em 1976, o primeiro modelo de secador solar que consistia em uma caixa onde o produto a ser seco era depositado e coberto por uma tampa transparente (KUMAR, 2016). Desde então, pesquisadores têm se dedicado a realizar melhorias nos secadores solares, buscando atingir as características de secagem ideal.

Segundo Imre (2015), as principais partes dos secadores solares são:

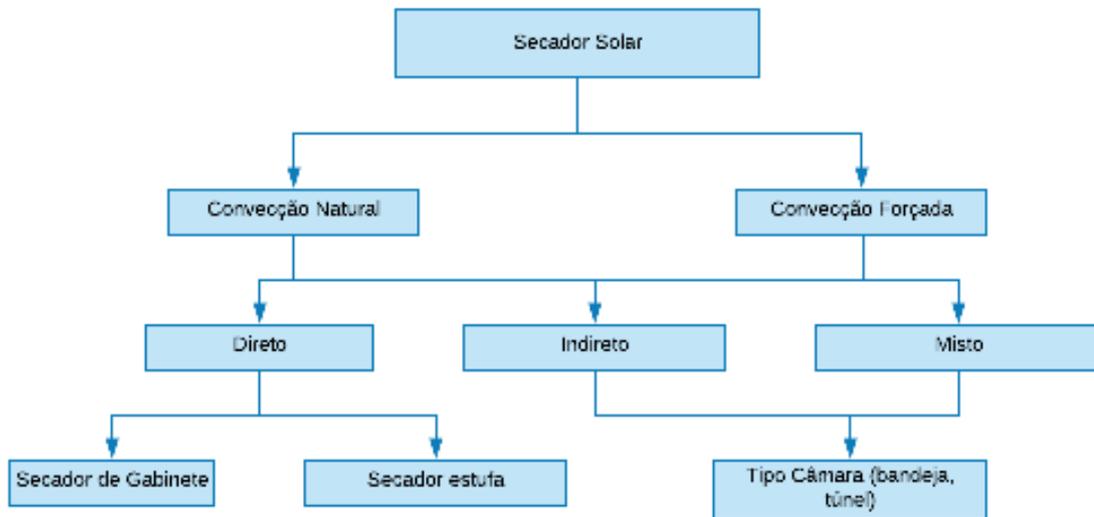
- ✓ espaço de secagem, onde o material é colocado;
- ✓ coletor para converter a radiação solar em radiação térmica;
- ✓ fonte de energia auxiliar (opcional);
- ✓ equipamentos de transferência de energia térmica para transferir energia térmica ao ar de secagem ou ao material;
- ✓ meios para manter o ar de secagem em movimento;
- ✓ unidade de armazenamento de energia térmica (opcional), equipamento para controle e aquisição de dados (opcional);
- ✓ dutos, tubos e aparatos.

O coletor solar é o principal componente do secador solar, pois desempenha o papel de fonte de energia primária (SILVEIRA, 2016). Ele é definido como um tipo específico de trocador de calor que visa o aquecimento do ar ambiente (GOMES e GRILO, 2017).

A irradiação, ao incidir sobre a superfície do coletor, parte é absorvida, parte refletida e parte transmitida. A irradiação transmitida, ao entrar no coletor com um determinado comprimento de onda, incide sobre o capacitor térmico, aquecendo-o. Por sua vez, o comprimento de onda é alterado e, ao ser refletido sobre a superfície coletora, a sua passagem é bloqueada, fazendo com que a irradiação seja transmitida e absorvida continuamente. Esse fenômeno provoca o aumento da temperatura e, conseqüentemente, o efeito estufa e o aquecimento do fluido de trabalho.

Segundo Kumar et al. (2016), os secadores solares podem ser classificados em categorias conforme ilustrado na Figura 2.10.

Figura 2.10: Fluxograma classificação dos secadores solares.



Fonte: Adaptado Kumar et al.(2016).

A diferença entre o secador solar de convecção natural (ou secadores passivos) e o secador de convecção forçada (ou secadores ativos) é a maneira como o ar de secagem circula no equipamento. No primeiro, o movimento do ar ocorre apenas através do efeito termossifão, enquanto que, no segundo, o fluxo de ar movimenta-se, também, através do acionamento de bomba ou ventilador (BASUNIA e ABE, 2001).

O secador de exposição direta é composto pelo coletor, onde o produto a ser seco é depositado, tem uma construção simples e de baixo custo. O secador solar de exposição indireta possui, basicamente, quatro componentes: um coletor solar, uma câmara secagem, um ventilador e condutas para circulação de ar. O secador solar misto possui os mesmos componentes do secador solar de exposição indireta, com o diferencial que o produto disposto na câmara de secagem fica exposto a irradiação solar incidente. O secador solar híbrido, além de utilizar a energia solar, faz o uso de uma fonte auxiliar de energia como, por exemplo, energia elétrica ou gás liquefeito de petróleo (GLP). O rendimento térmico médio nos secadores solares está descrito na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Sistema de secagem x Rendimento térmico.

Sistema de secagem	Rendimento térmico
Exposição direta	20 a 40%
Exposição Indireta	13 a 25%
Híbrido	17 a 29%

Fonte: Kumar et al (2016)

2.5.3 Estudo da arte: secador solar de exposição direta

O secador solar de exposição direta é um equipamento de simples construção, rentável, exige menos manutenção, é de fácil manuseio e locomoção e é útil para o processamento de vários produtos, como fatias de frutas e vegetais (KUMAR e SINGH, 2020).

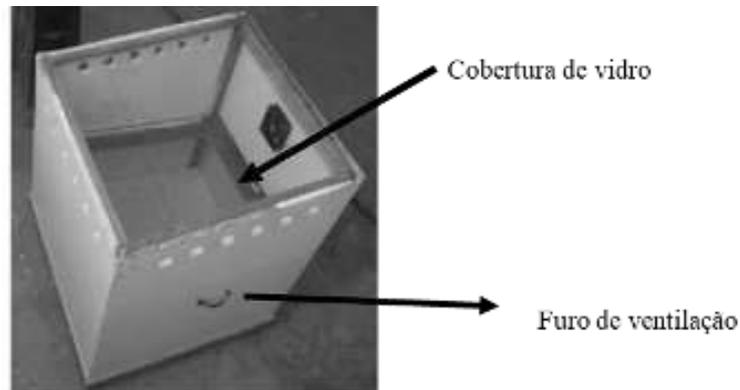
Tefera et al. (2013) avaliaram o desempenho do secador solar de exposição direta construído em madeira e na forma de pirâmide para a secagem de batata (*S. tuberosum*). O tempo de secagem foi reduzido em 2 a 3 h em comparação com a secagem ao sol ao ar livre.

Alonge e Uduak (2014) construíram um secador solar de exposição direta, com convecção forçada, para secar as folhas de maçã do mato. Em oito horas de secagem, o teor de umidade reduziu-se de 66,4% para 11,5%, tendo sido necessário mais de 24 h na secagem ao ar livre.

Krang, Onwe e Onda (2015) desenvolveram um secador solar de exposição direta, com convecção natural, para a secagem de lagostins e com umidade inicial de 76,6%. O período de secagem em relação à secagem ao ar livre foi reduzido em 2 dias e a umidade dos lagostins, ao fim do processo, foi de 12% .

Islam et al. (2018) desenvolveram um secador solar de exposição direta, exibido na Figura 2.11, para secar bananas e batatas. Para reduzir a umidade relativa do ar no interior do equipamento, foi realizado um teste de 36 h em um secador com ventilador de corrente contínua de 12 V, posicionado em seu interior, e outro sem esse ventilador.

Figura 2.11: Secador solar de exposição direta.



Fonte: Adaptado Islam et al. (2018).

A umidade relativa do ar no interior da câmara de secagem do secador utilizado como passivo ficou entre 30% e 52%. Já no secador utilizado como ativo, a menor umidade relativa foi de 27%. A redução da umidade relativa do ar no interior do equipamento facilitou o processo de secagem.

Coelho et al. (2018) desenvolveram protótipos de secador solar de baixo custo e avaliaram a eficiência do processo de secagem da manga *Cv. 'Tommy Aktins'*. Para a construção do secador solar, foi utilizado um tambor metálico partido ao meio (produzindo dois secadores), vidro e cantoneiras metálicas, como pode ser visto na Figura 2.12. Além disso, foi adaptado um sistema de circulação forçada de ar. A avaliação do processo de secagem foi verificada por meio do ganho de temperatura do secador, tendo sido observado um incremento em torno de 15°C, a secagem ocorreu em 14 h.

Figura 2.12: Secador solar de exposição direta (tambor metálico).



Fonte: Coelho et al. (2018).

Islam et al. (2019) desenvolveram três tipos de secador solar tipo gabinete, com convecção natural, como ilustrado na Figura 2.13, e realizaram teste para a secagem de frutas em diferentes estações do ano. Após a análise da taxa de remoção de umidade dos três secadores, perceberam que a remoção de umidade total do produto a ser seco no secador tipo chaminé de tubo fino, secador tipo espaço do sótão e secador de tiragem natural foi de 44,5%, 33,3% e 58,9%, respectivamente e em 6 h.

Figura 2.13: Secador solar de exposição direta (estudo comparativo).



Legenda: 1) Secador tipo chaminé de tubo fino; (2) secador tipo espaço no sótão; (3) secador de convecção natural; (4) chaminé.

Fonte: Islam et al.(2019).

Sanusi et al. (2013) analisaram o desempenho de secadores solares diretos e indiretos para a secagem de tomate (*Solanum lycopersicum*). Foi observado que secador solar direto

atingiu a maior redução no teor de umidade e apresentou maior variação de temperatura que o secador solar indireto.

2.5.3.1 Secador solar desenvolvido pelo GEDS

O GEDS vem trabalhando no desenvolvimento e aprimoramento de secador solar de baixo custo que propicie o desenvolvimento regional sustentável, atendendo às demandas da agricultura familiar. Os equipamentos são construídos e testados no Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) desde 2007.

O primeiro secador solar de exposição direta foi desenvolvido por Moura (2007), o equipamento foi construído em MDF com a cobertura de vidro transparente.

Figura 2.14: Coletor com cobertura de vidro.



Fonte: Moura (2007).

A partir dos resultados obtidos por Moura (2007), os equipamentos sofreram alterações. Nunes et al. (2013) fizeram alterações nas dimensões, material utilizado na cobertura, número de bandejas do secador solar conforme ilustrado nas Figuras 2.14.

Figura 2.15: Coletor com cobertura de policarbonato.



Fonte: Nunes et al. (2013).

Gilo e Lacerda (2013), desenvolveram um secador solar com formato hexagonal e cobertura de vidro, como ilustrado na Figura 2.16.

Figura 2.16: Coletor com formato hexagonal.



Fonte: Grilo e Lacerda (2013).

Os primeiros secadores solares de exposição indireta desenvolvidos pelo GEDS, por Nunes et al. (2013) Gomes (2015) e Nunes (2016), possuem a cobertura do coletor solar de policarbonato alveolar cristal, o coletor e a câmara são de madeira do tipo MDF ultra e utiliza-se uma telha de fibrocimento, pintada de preto fosco, como capacitor térmico.

Os secadores desenvolvidos, a partir de 2015, apresentam dispositivo de ventilação forçada com a utilização de *coolers*, alimentados por um painel solar fotovoltaico de 12 V e 6

W. Um dos objetos de estudo dos equipamentos desenvolvidos foi a relação entre o volume do coletor e da câmara de secagem.

Gomes (2015) desenvolveu um equipamento cujo volume da câmara de secagem é duas vezes maior que o coletor solar, Figura 2.17.

Figura 2.17: Secador solar desenvolvido por Gomes.



Fonte: Gomes (2015).

Nunes (2016) desenvolveu um secador cujo volume do coletor solar é superior a 2,5 vezes ao volume da câmara, como ilustrado na Figura 2.18..

Figura 2.18: Secador solar desenvolvido por Nunes.



Fonte: Nunes (2016).

Melo (2016) desenvolveu um secador cujo volume do coletor era cinco vezes maior que o volume da câmara, Figura 2.19.

Figura 2.19: Secador solar desenvolvido por Melo



Fonte: Melo (2016).

Lima (2017) desenvolveu um secador solar cujas características construtivas são semelhantes ao desenvolvido por Nunes (2016), com o diferencial da realização de um comparativo entre a secagem solar, a secagem mista (solar + elétrica) e secagem elétrica, e a utilização de um sistema de controle das propriedades termodinâmicas do ar.

Nunes et al. (2013) desenvolveram um secador híbrido, conforme Figura 2.20, constituído por um coletor solar, uma câmara de secagem e um sistema de aquecimento por meio da combustão do gás GLP.

Figura 2.20: Secador híbrido.



Fonte: Nunes et al. (2013)

A câmara e o coletor foram construídos de madeirite de 10 mm, sendo que o coletor possui cobertura de policarbonato. Na câmara de secagem, fica instalado o sistema auxiliar de aquecimento, constituído de uma chapa metálica de alumínio que recobre o fundo da câmara de secagem, aquecida pela queima do GLP, e um queimador com dois bicos instalados no interior da câmara, abaixo da chapa de alumínio.

Gomes (2021) realizou, por meio do planejamento experimental fatorial, uma análise dimensional e construtiva de diferentes arranjos para os componentes de um secador solar de exposição indireta. Entre as variáveis independentes utilizadas no planejamento fatorial, foi considerado o tipo de material isolante utilizado na construção do secador solar (madeira maciça de Pinus ou poliestileno expandido 25 mm), volume do coletor (100 l ou 200 l) e o tipo de cobertura do coletor solar (policarbonato alveolar ou vidro). A variável dependente foi o rendimento térmico do equipamento.

As variáveis que apresentaram maior significância estatística foram o volume e a superfície transparente e, por fim, o material isolante, sendo a melhor combinação para o coletor solar um volume de 100 l, construído com madeira maciça de Pinus e com superfície transparente de policarbonato alveolar, como ilustrado na Figura 2.21.

Figura 2.21: Secador solar otimizado por Gomes.



Fonte: Gomes (2021).

Fernandes (2021) fez modificações no secador solar desenvolvido por Moura (2017) por meio da utilização de convecção forçada com auxílio de ventoinhas e de uma unidade dessecante contendo sílica gel, como ilustrado na Figura 2.22.

Figura 2.22: Secador de exposição direta com unidade de dessecante.



Fonte: Fernandes (2021).

O sistema de secagem foi testado para a secagem de banana prata, em Campina Grande - PB, e os resultados obtidos mostraram uma melhor performance no secador que utilizou a sílica gel. Apesar das temperaturas obtidas nos dois secadores ficarem próximas, houve uma diferença significativa no valor da umidade relativa do ar.

A menor umidade relativa do ar registrada foi de 15,8% e o valor médio foi de aproximadamente 20% no secador com dessecante; enquanto que, no secador sem dessecante, o menor valor foi de 26,8% e o valor médio foi de aproximadamente 32%.

Além disso, o rendimento termodinâmico dos secadores solares com sílica gel e sem sílica gel foi, em média, de 36,3% e 32,6%, respectivamente, havendo uma redução no tempo de secagem do secador com sílica gel, entre 60 a 240 min, em relação ao sistema sem sílica gel.

2.6 DESUMIDIFICAÇÃO DO AR AMBIENTE

A remoção de vapor de água do ar pode ser feita por dois métodos principais, a saber, à base de resfriamento ou à base de dessecantes. No primeiro método, resfria-se o ar para condensar o vapor de água; já no segundo método, o ar passa por um material dessecante, este atrai o vapor de água criando uma área de baixa pressão de vapor na superfície do dessecante e, com isso, a pressão exercida pelo vapor de água no ar é maior e as moléculas de água se movem do ar para o dessecante e o ar é desumidificado. A desumidificação do ar ambiente é uma das inovações propostas neste trabalho.

A utilização de materiais dessecantes é uma alternativa para uma secagem solar uniforme e eficiente, pois estes materiais têm a capacidade de absorver altos níveis de umidade do ar. Os materiais dessecantes podem ser classificados em dois grandes grupos, a saber, dessecantes líquidos e dessecantes sólidos.

Os dessecantes líquidos mais usados são o cloreto de lítio, o brometo de lítio e o cloreto de cálcio. Alguns pesquisadores têm utilizado essas substâncias devido à sua baixa temperatura de regeneração e à sua capacidade de adsorver contaminantes orgânicos e inorgânicos do ar.

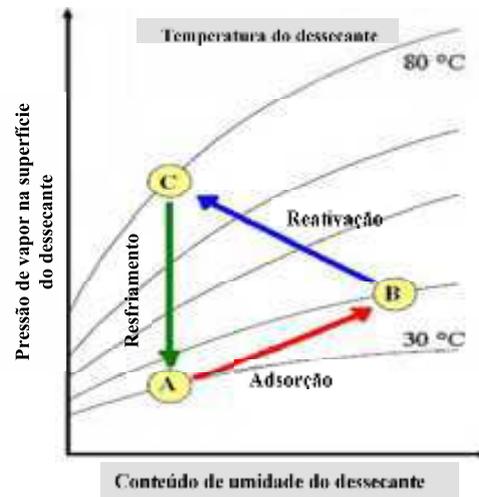
Os dessecantes sólidos comumente utilizados são: a sílica gel, a alumina ativada, a zeólita sintética, os biodessecantes e os carbonos ativados. Uma propriedade comum e importante desses materiais é a sua estrutura microporosa, fator importante ao considerar a capacidade de adsorver a umidade do ar úmido (ABDUMALEK, 2018).

Segundo Misha (2015), em geral, a utilização de dessecantes sólidos na construção de secadores se dá devido à facilidade de seu manuseio, uma vez que os sistemas dessecantes sólidos comumente apresentam a forma de rodas estacionárias ou rotativas para embalar o material dessecante.

A principal característica dos dessecantes é sua baixa pressão de vapor superficial. Se o dessecante estiver frio e seco, sua pressão de vapor na superfície é baixa; sendo assim, pode atrair a umidade do ar. Depois que o dessecante se torna úmido e quente, a pressão de vapor da superfície é alta e irá liberar vapor de água para o ar circundante.

Como supracitado, os desumidificadores à base de dessecantes fazem uso das mudanças de pressão de vapor para secar o ar continuamente em um ciclo repetitivo, como ilustrado na Figura 2.23.

Figura 2.23: Etapas do processo de desumidificação a base de dessecantes.



Fonte: Amorim (2012)

O dessecante começa o ciclo no ponto A; nesta etapa, a pressão do vapor da superfície é baixa porque o dessecante está seco e frio. À medida que a vapor de água presente no ar circundante penetra na superfície do dessecante, as condições de sua superfície mudam para a condição descrita no ponto B, na qual a pressão de vapor é igual ao do ar circundante, uma vez que o dessecante está úmido e quente. No ponto B, o dessecante perde a capacidade de adsorver a umidade do ar porque não há diferença de pressão (AMORIM, 2012).

No processo de reativação, o dessecante é retirado do ambiente com ar úmido, aquecido e colocado em uma corrente de ar diferente. Com isso, a pressão de vapor da superfície do dessecante fica mais alta que o ar circundante e o vapor de água se afasta da superfície para o ar, buscando o equilíbrio de pressão. No ponto C, o dessecante é seco, mas, como está quente, sua pressão de vapor ainda é muito alta para adsorver umidade do ar. Para restaurar sua baixa pressão de vapor, o dessecante é resfriado, retornando para o ponto A no diagrama e completando o ciclo (HARRIMAN III, 2002).

2.6.1 Sistema de secagem utilizando dessecante sólido

Hodali e Bougard (2001) projetaram e instalaram uma unidade de adsorção contendo sílica gel em um sistema de secagem solar indireta. A unidade de adsorção foi instalada entre o coletor solar e a câmara de secagem, como ilustrado na Figura 2.24.

Figura 2.24: Otimização do sistema de secagem solar com acoplamento de unidade de adsorção.



Fonte: Adaptado Hodali e Bougard (2001).

Foram realizadas simulações numéricas para a secagem de damasco sob as condições climáticas do Marrocos e constatou-se que a integração da unidade de adsorção permitiu melhorar a qualidade do produto seco, havendo redução do período de secagem de 52 h para 44 h.

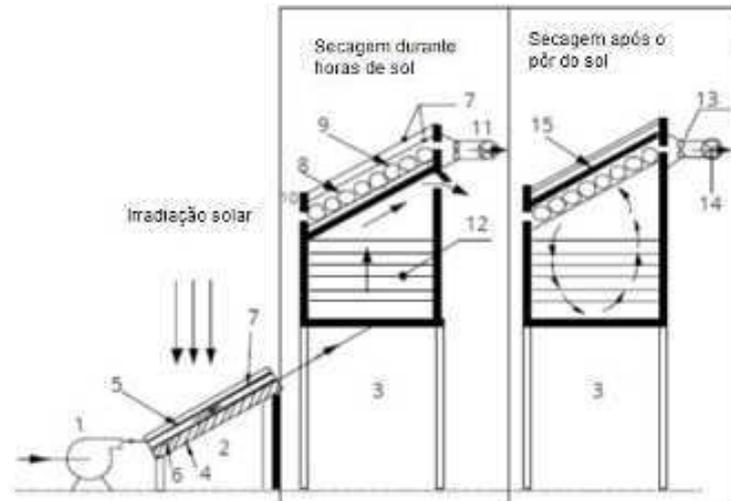
Shanmugam e Natarajan (2006) desenvolveram um sistema de secagem indireta com convecção forçada e unidade dessecante, como ilustrado na Figura 2.25, para a secagem de várias culturas agrícolas. A unidade dessecante foi projetada para conter 75 kg de material dessecante constituído por 60% de bentonita, 10% de cloreto de cálcio, 20% de vermiculita e 10% de cimento.

Os experimentos foram realizados com ervilhas verdes sob as condições climáticas de Chennai, Índia. Os resultados mostraram que a integração da unidade dessecante possibilita a secagem após o pôr do sol e melhora a qualidade dos produtos. Ao analisar a variação na taxa de fluxo de ar de 0,01; 0,02 e 0,03 kg/s, foi observado que o produto seca, até seu teor de equilíbrio, em cerca de 22, 18 e 14 h, respectivamente.

Shanmugam e Natarajan (2007) aprimoraram o sistema de secagem desenvolvido, com a inclusão de um espelho reflexivo. Experimentos realizados com a ervilhas e fatias de abacaxi, sob as condições climáticas de Chennai, mostraram que, com esse melhoramento, o potencial de secagem do material dessecante foi aumentado em 20% e o tempo de secagem reduzido. A eficiência do equipamento variou entre 43% e 55% .

Em todos os experimentos de secagem, aproximadamente 60% da umidade do produto foi removida pelo ar aquecido com energia solar e o restante pelo dessecante.

Figura 2.25: Secador Solar com dessecante sólido.



1. soprador; 2. coletor de placa plana; 3. câmara de secagem; 4. isolamento térmico; 5. placa absorvedora; 6. placa inferior; 7. cobertura transparente; 8. leito dessecante; 9. madeira compensada; 10. entrada de ar; 11. duto de saída e ar; 12. bandejas de secagem; 13. ventilador bidirecional; 14. válvulas; 15. c madeira compensada.

Fonte: Adaptado Shanmugam e Natarajan, (2006).

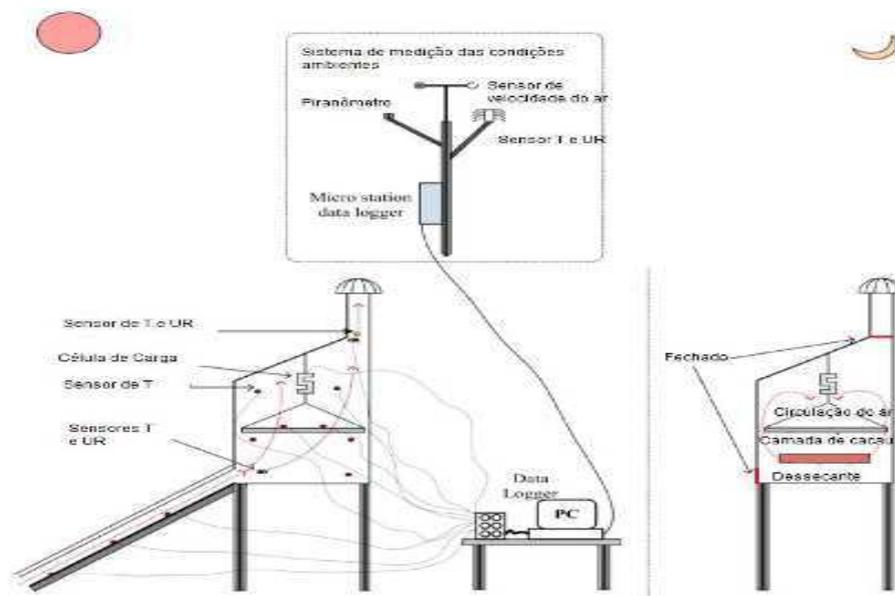
Além disso, a inclusão de espelho reflexivo no leito dessecante tornou a regeneração do material dessecante mais rápida. Com a utilização do espelho, houve uma redução de 2 e 4 h na secagem das ervilhas e fatias de abacaxi, respectivamente, em comparação ao sistema de secagem sem espelho reflexivo.

Chramsa et al. (2013) desenvolveram um secador solar para frutas com sistema de desumidificação formado por leitos de sílica gel. Nos experimentos realizados sem carga, foi observado que os parâmetros que afetam a taxa de adsorção são a temperatura do ar e a taxa de umidade do ar úmido. Já nos testes realizados com carga, houve uma redução de 20,83%, no tempo de secagem, no sistema com desumidificação em relação ao sistema sem desumidificação.

Dina et al. (2015) avaliaram a eficiência de um secador solar contínuo integrado ao compartimento térmico contendo dessecante para realizar a secagem dos grãos de cacau, como ilustrado na Figura 2. 26. Foram usados dois tipos de dessecantes, a saber, o cloreto de cálcio ($CaCl_2$), como absorvente; e a peneira molecular $13(Na86 [(AlO_2) 86 (SiO_2) 106] 264H_2O)$, como adsorvente.

Durante a noite, o compartimento térmico foi colocado dentro da câmara de secagem, junto com os grãos de cacau, e a câmara de secagem era isolada do ar ambiente. Deste modo, o processo de secagem continuava, mesmo que a temperatura estivesse relativamente baixa. Os experimentos foram realizados na cidade de Medan, Indonésia, e divididos em três grupos: secagem solar contínua com adsorvente, secagem solar contínua com absorvente e secagem solar intermitente. A secagem era encerrada quando o teor de equilíbrio fosse alcançado.

Figura 2.26: Sistema de secagem contínuo.



Fonte: Adaptado Dina et al (2015).

A secagem direta ao sol e ao ar livre durou 55 h, já o tempo de secagem com dessecante do tipo adsorvente foi reduzido para 41 h e para 30 h (com dessecante do tipo absorvente). Os autores concluíram que o secador solar, integrado ao armazenamento de energia térmica com dessecante, torna a secagem com energia solar mais eficaz em relação ao tempo de secagem e ao consumo específico de energia.

Diante do exposto, nota-se que a utilização dos dessecantes sólidos tem sido uma estratégia eficaz para realizar a secagem de forma contínua. A proposta deste trabalho é realizar a secagem de forma intermitente e utilizar o dessecante sólido — a sílica gel — na entrada do sistema de secagem para reduzir a umidade relativa do ar. Com isso, espera-se que ocorra a diminuição do tempo de secagem, como observado nos trabalhos supracitados.

2.7 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A produção do conhecimento e os avanços tecnológicos em diversas áreas do conhecimento têm sido cada vez mais dinâmicos. Nesse sentido, os estudos de prospecção tecnológica são importantes para conhecer o panorama nacional e/ou internacional sobre as inovações desenvolvidas acerca de determinado tema.

Segundo Coelho e Coelho (2003), a prospecção de tecnologia, por meio da gestão de informação, é extremamente útil para apresentar o estado da arte de determinada área tecnológica com o objetivo de gerar informações sobre a sua trajetória passada e sobre as tendências de mercado e percepção de sinais fracos. Amparo et al. (2012) acrescentam que os estudos de prospecção que necessitam da informação tecnológica podem ser encontrados nos bancos de dados de patentes, sendo um recurso valioso e confiável.

As patentes constituem uma das mais antigas formas de proteção da propriedade intelectual e, como tal, têm por objetivo incentivar o desenvolvimento econômico e tecnológico, recompensando a criatividade. A patente é um contrato estabelecido entre o Estado e o criador de uma invenção que dá ao inventor o direito exclusivo de produzir e comercializar sua invenção; em contrapartida, a sua divulgação torna-se pública. A investigação e o monitoramento sistemático dos conteúdos dos documentos de patentes são estratégias fundamentais na geração de conhecimentos, e podem ser encontrados nos bancos de dados de patentes (AMPARO et al., 2012).

Os principais bancos de patente são: *United States Patent and Trademark Office* (USPTO), de base norte-americana; *European Patent Office* (Espacenet), de base europeia; *World Intellectual Property Organization* (WIPO), de base mundial; e *Instituto Nacional de Propriedade Industrial* (INPI), de base nacional.

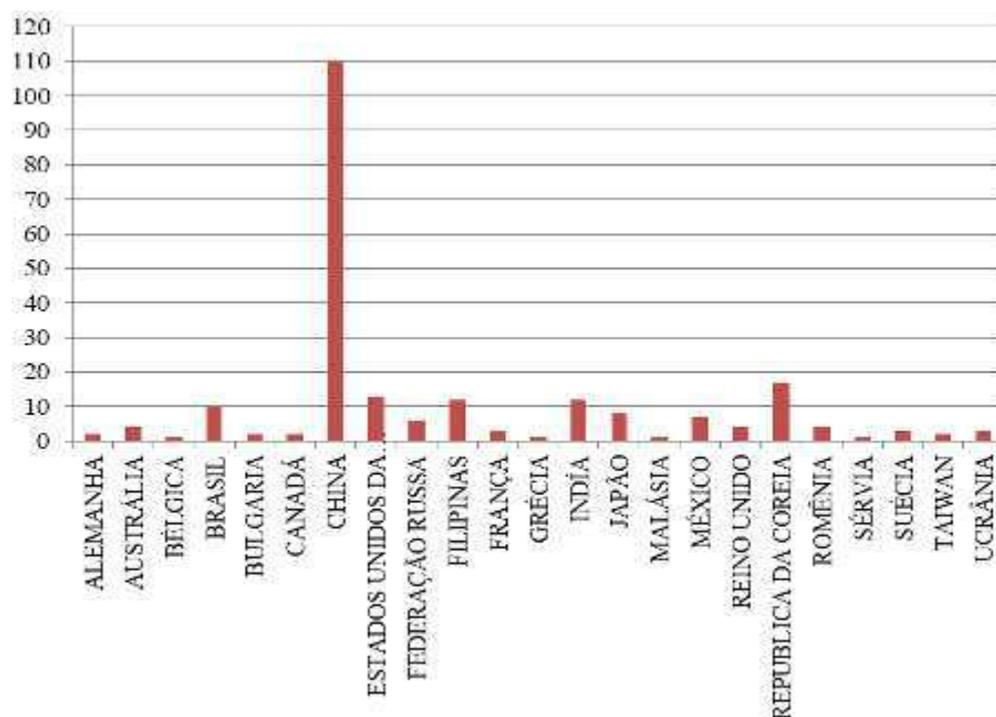
Para a realização desta prospecção tecnológica, foi feita uma busca preliminar nas bases supracitadas com as palavras-chaves “Solar”, “Dryer” ou “Secador”, “Solar”. Foram encontradas 564 patentes registradas na WIPO; 260 patentes registradas na Espacenet; 5 patentes registradas na USPTO e 13 patentes registradas no INPI. Após a análise preliminar da leitura do título das patentes, foi feita uma triagem a partir da leitura dos resumos. O número de patentes em cada base, após a realização da triagem, está apresentado na Tabela 2.3, sendo que, dentre as patentes registradas na WIPO, 9 delas também estavam registradas na Espacenet.

Tabela 2.3: Registro de patentes.

Base de Dados	WIPO	Espacenet	USPTO	INPI
Número de Patentes	84	135	5	10

Fonte: Costa et al. (2020)

A Figura 2.27 apresenta o quantitativo de registros por país. Apesar das regiões com maior incidência de radiação solar serem a América do Sul, a África e a Austrália, observa-se que a China se destaca pelo número expressivo de registros de patentes. O registro de patentes brasileiras ainda é pequeno, principalmente considerando que o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas mundiais e está localizado em uma região privilegiada em relação à quantidade e a qualidade da irradiação solar incidente. Esse resultado mostra que existe um campo em potencial para pesquisas e inovações voltadas para o desenvolvimento de equipamentos que utilizem a energia solar como fonte de energia, e que podem obter registro de patente. São conhecidas a existência de várias pesquisas nessa área, principalmente nas Universidades localizadas no Nordeste brasileiro, sendo muitas dessas pioneiras no Brasil.

Figura 2.27: Número de patentes por país.

Fonte: Costa et al. (2020).

Dentre os registros de patentes, seis delas foram registradas nas organizações, não sendo especificado o país de origem, sendo duas na Organização Europeia de Patentes e quatro na Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI) (WIPO). O primeiro registro de patente ocorreu em 1976, solicitado por Everitt e Stanley, nos Estados Unidos. Desde então, com o aumento da população, a busca por alimentos saudáveis, custo reduzido de transporte, produtos com maior tempo de prateleira, dentre outros fatores, cresceu o número de registros de patentes sobre os secadores. A linha do tempo para as pesquisas e inovações acerca dos secadores solares vem crescendo, como pode ser visto na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Número de patentes por década.

Período	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Número de Patentes	4	27	21	21	161

Fonte: Costa et al. (2020).

Nota-se um aumento expressivo no registro de patentes no período de 2010 a 2019. Esse fato está relacionado com a conscientização e a necessidade da utilização de fontes renováveis, também com a preocupação com a redução de perdas de alimentos, bem como o aprendizado no ambiente acadêmico sobre como transformar a pesquisa desenvolvida não apenas em publicação, mas em patente.

Apesar do Brasil ser um dos maiores produtores agrícolas e pecuária e estar em uma posição geográfica privilegiada em relação à incidência solar, as inovações registradas para secadores solares ainda são pouco expressivas. Mas, o número de patentes registradas nesta área é crescente e o cenário é promissor para que o Brasil possa chegar a posições mais elevadas.

Capítulo III
MATERIAIS E MÉTODOS

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados as características dos locais de realização dos experimentos, as características do dessecante sólido escolhido para a redução da umidade relativa do ar e a descrição do protótipo desenvolvido.

Além disso, serão apresentados os métodos para a avaliação dos sistemas de secagem, a saber: o planejamento experimental fatorial, o rendimento térmico dos equipamentos e os modelos matemáticos que serão ajustados aos dados experimentais.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE REALIZAÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS

A escolha dos locais de realização dos experimentos, as cidades de Campina Grande - PB e Petrolina - PE, se deram por possuírem condições meteorológicas distintas e por se destacarem na produção de frutas. Ademais, ambas as regiões possuem condições propícias para a utilização de energia solar e são polos de desenvolvimento regional: Campina Grande sede da UFCG e Petrolina possui um *campus* da UPE.

O município de Campina Grande, situado na microrregião do Agreste Paraibano, localizado na latitude de 7°13'11" Sul e longitude 35°52'31" Oeste, tem clima tropical, com chuvas mais comuns no verão/outono do que no inverno/primavera e com uma altitude em torno de 650 metros. Por estar localizado em uma região alta, no topo da serra da Borborema, beneficia-se de temperaturas menores e de uma ótima ventilação. De acordo com Medeiros et al. (2014), a temperatura média anual oscila em torno dos 23,3°C, a máxima em torno dos 30,9°C e a mínima em torno dos 18,4°C, sendo fevereiro o mês mais quente (com a temperatura média de 26°C) e julho o mês mais frio julho (com temperatura média de 20°C). A umidade relativa do ar, na área urbana, varia normalmente entre 66 a 80%.

A cidade de Petrolina está localizada no semiárido do Nordeste brasileiro, na latitude 9°23'34" Sul e 40°30'28" Oeste, a 380 m de altitude em relação ao nível do mar. Segundo informações do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA, 2019), a cidade tem clima tropical semiárido, os verões tendem a ser extremamente quentes e invernos

que variam de quentes a frios, mas com uma precipitação mínima. Nos meses mais úmidos, a umidade relativa do ar varia, em média, entre 66% e 72%. Menores valores acontecem nos meses mais quentes, de setembro a novembro, quando a umidade relativa do ar atinge valores abaixo de 55%. A umidade relativa do ar atinge os maiores valores em abril, que corresponde ao fim do período chuvoso. A temperatura do ar apresenta variações médias entre 24°C e 28°C, sendo julho o mês mais frio e novembro o mês mais quente do ano.

Os dados de irradiação solar média das duas cidades, considerando o plano horizontal, estão dispostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Irradiação solar diária média [kW/m²].

Cidade	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Campina Grande	5,55	5,67	5,77	5,23	4,63	4,06	4,16	4,90	5,49	5,75	5,99	5,76
Petrolina	6,38	6,13	6,05	5,28	4,82	4,58	4,84	5,57	6,35	6,44	6,55	6,45

Fonte : CRESESB (2021).

Os períodos de menores e maiores índices de irradiação solar ocorrem, respectivamente, nos meses de junho e novembro nas duas cidades. Os sistemas de secagem foram montados para os testes na área externa do Laboratório de Física e Energias Renováveis da UPE *Campus* Petrolina e no *solarium* do LEMT da UFCG, em Campina Grande.

3.2 POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE SECAGEM

Para maximizar a captação da irradiação solar incidente e o rendimento térmico do secador solar, ao longo do ano, em regiões localizadas no hemisfério Sul, Grilo (2007) recomenda que, se for fixo, o secador solar esteja posicionado voltado para o Norte geográfico, com uma inclinação igual à latitude local mais uma inclinação de 10° a 15°.

Seguindo esta recomendação, em Petrolina, a inclinação do secador solar deve estar entre 19° e 24° voltado para o Norte. Neste estudo, foi utilizada uma inclinação de 20°. Em

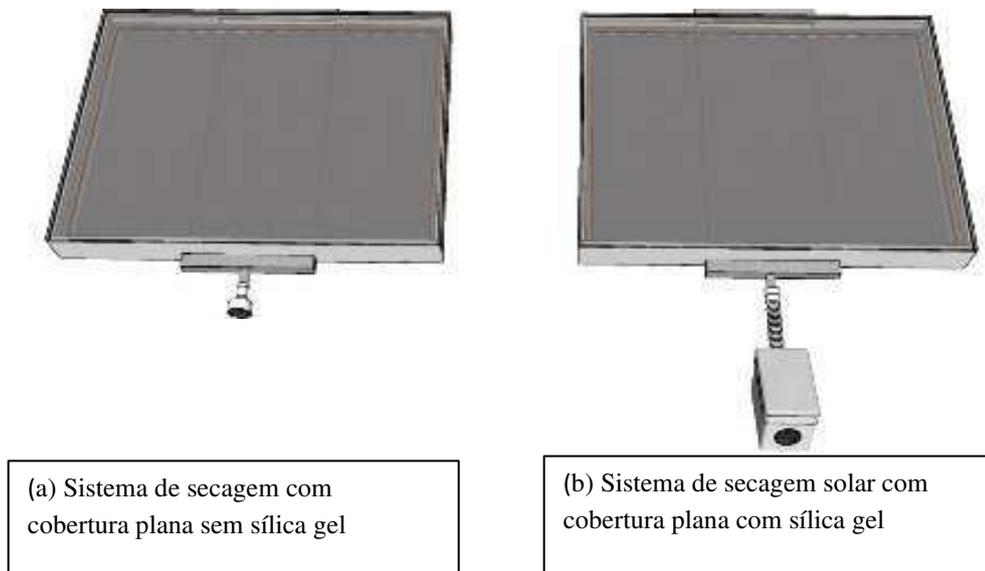
Campina Grande, a inclinação do coletor deve estar entre 17° e 22° voltado para o Norte. A inclinação utilizada foi de 22° .

3.3 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

Os protótipos desenvolvidos, neste trabalho, contemplam várias adaptações de trabalhos anteriores desenvolvidos no LEMT por Gomes (2021) e Fernandes (2021). São secadores solares de exposição direta com convecção forçada; ambos com 120 cm de comprimento, 90 cm de largura e 12 cm de altura; uma de suas características inovadoras é o formato da cobertura do sistema de secagem, a saber, uma cobertura de policarbonato convexa, que teve como objetivo aumentar a área de captação de radiação solar incidente.

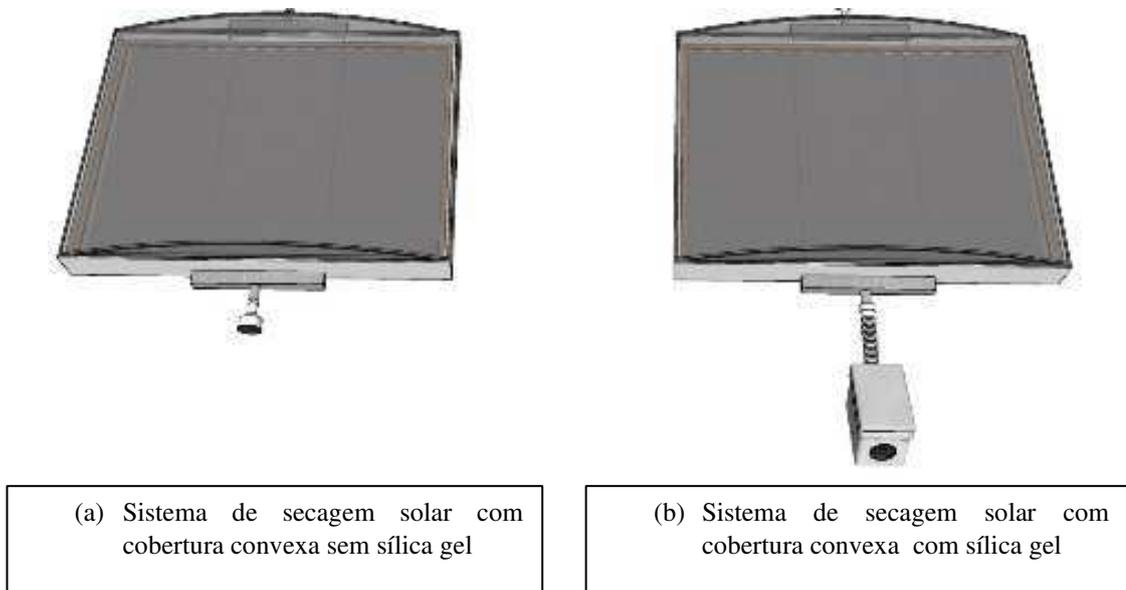
O protótipo, ilustrado na Figura 3.1, é um sistema de secagem solar com cobertura plana com área de incidência solar de $1,08 \text{ m}^2$ e volume interno de 129,06 l.

Figura 3.1: Protótipo sistema de secagem solar com cobertura plana.



O sistema de secagem, ilustrado na Figura 3.2, é um sistema de secagem solar com cobertura convexa com área de incidência solar de $1,176 \text{ m}^2$ e volume interno de 201,6 l.

Figura 3.2 : Protótipo sistema de secagem solar cobertura convexa



A cobertura dos secadores é em policarbonato alveolar transparente, uma superfície seletiva com espessura de 4 mm. A escolha desse material, em detrimento do policarbonato compacto, devido ao fato que entre as duas placas finas e as aletas do policarbonato alveolar existem espaços de ar que aumentam o isolamento térmico. Em relação ao vidro, o policarbonato alveolar destaca-se pela resistência ao impacto, baixo peso e fácil manuseio. Ademais, Toro et al. (2015) constataram que o policarbonato alveolar transparente tem melhor transmitância do que a cobertura dupla de vidro, obtendo com o policarbonato valores até 55% maiores que a cobertura de vidro.

A base dos secadores, ilustrada na Figura 3.3, é feita de poliestireno expandido (isopor), revestidos de alumínio para garantir a higiene do processo e melhorar a transferência de calor para o fluido de trabalho.

Figura 3.3: Construção do coletor solar.



No interior da base, foi adicionado uma telha de fibrocimento de 4 mm pintada de preto fosco, assumindo a função de uma placa absorvedora de energia solar. A telha pintada de preto fosco apresenta elevada capacidade absorviva e condutiva, o que facilita o processo de transferência de calor ao ar de secagem e assume também a função de capacitor térmico (GOMES, 2021).

As bandejas onde será depositado o produto a ser seco foram confeccionadas por cantoneiras de alumínio em L de $\frac{1}{2}$ polegada e tela de nylon. A tela de nylon permite a circulação do ar no interior do secador solar e apresenta facilidade para limpeza de resíduos das frutas, entre os processos de secagem solar.

Em ambos os sistemas de secagem poderá ser acoplado uma unidade dessecante feita com uma caixa de isopor de 17 litros, contendo duas bandejas nas quais será depositado o dessecante sólido.

Um resumo das principais características construtivas e dimensionais dos protótipos dos sistemas de secagem desenvolvido nesse trabalho é apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Características construtivas e dimensionais do sistema de secagem desenvolvido.

Componente	Características
Base	
Material	Chapa de Alumínio Poliestireno expandido 25 mm
Dimensões (largura, comprimento e altura em cm)	90 x 120 x 12
Dimensões da entrada de ar (largura e altura em cm)	50 x 3
Dimensões da saída de ar (largura e altura em cm)	40 x 3
Capacitor térmico	Telha de fibrocimento pintada de preto fosco
Cooler de computador usado na entrada dos sistemas de secagem	12 V e 0,23 A
Material da bandeja	Perfil em L de alumínio de ½ polegada e tela de nylon
Adaptador para cooler (diâmetro em cm)	5
Cobertura	Policarbonato alveolar 4 mm transparente
Sistema de secagem com cobertura plana	
Volume interno (litros)	129,06
Área de incidência de irradiação solar (m ²)	1,08
Sistema de secagem com cobertura convexa	
Volume interno (litros)	201,6
Área de incidência de irradiação solar (m ²)	1,176
Unidade Dessecante	
Caixa de poliestireno (volume em litros)	17

Para facilitar a identificação de cada um dos quatro sistemas de secagem, estes serão identificados no decorrer do texto, conforme apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Classificação dos sistemas de secagem com convecção forçada.

Sistema de Secagem	Características
I	<u>Cobertura plana</u> de policarbonato de 4 mm e <u>sem</u> unidade dessecante contendo sílica gel
II	<u>Cobertura plana</u> de policarbonato de 4 mm e <u>com</u> unidade dessecante contendo sílica gel
III	<u>Cobertura convexa</u> de policarbonato de 4 mm e <u>sem</u> unidade dessecante
IV	<u>Cobertura convexa</u> de policarbonato de 4 mm e <u>com</u> unidade dessecante contendo sílica gel

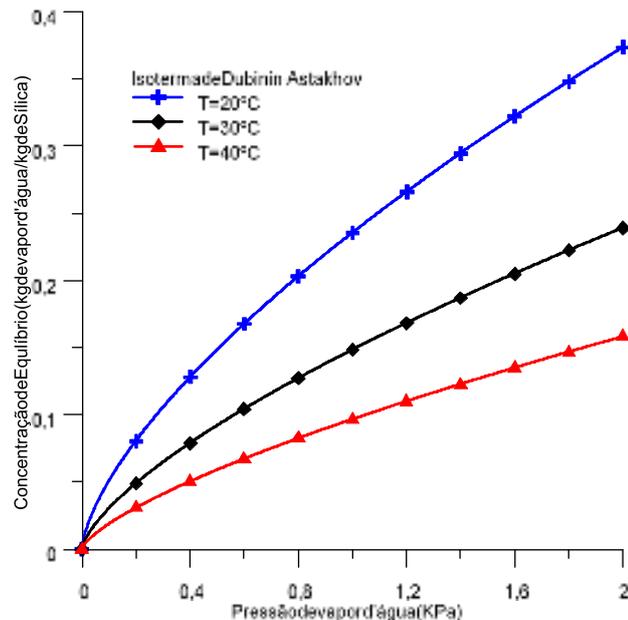
3.3.1 Características da unidade dessecante

Com base nos resultados obtidos por Fernandes (2021) e Amorim (2012), optou-se pela utilização da unidade dessecante acoplada à parte externa do sistema de secagem solar para aumentar sua capacidade de adsorção do dessecante. A unidade dessecante, ilustrada na Figura 3.4, foi confeccionada em uma caixa de poliestileno de 17 l, na qual foram inseridos um cooler, cuja velocidade é controlada por um potenciômetro; um sifão, com função de interligar a unidade dessecante à entrada do secador solar; e duas bandejas na qual será depositado o dessecante sólido.

Figura 3.4: Unidade Dessecante

Amorim (2012) verificou que a concentração de adsorbato retido no adsorvente, para as condições de equilíbrio, diminui sensivelmente com o aumento da temperatura do substrato sólido, como pode ser observado na Figura 3.5.

Figura 3.5: Isotermas de adsorção para o vapor de água em sílica gel.



Fonte: Amorim (2012).

Fernandes (2021), ao realizar experimentos com o material dessecante na parte interna e externa do sistema de secagem, observou que há uma maior absorção do vapor de água quando o material está sob baixa temperatura, o que corrobora com os resultados obtidos por Amorim (2012).

Neste trabalho, optou-se por utilizar a sílica gel, que é um tipo de composto sintético e amorfo do silício com fórmula química expressa por $SiO_2 \cdot nH_2O$. De acordo com a fabricante TED PELLA Inc., as partículas de sílica gel são capazes de absorver até 40% do seu peso em água, ou seja, a faixa de vapor de água dentro da sílica gel varia entre 4% - 40%. Comercialmente, encontram-se três tipos de sílica gel à venda, a saber: sílica gel branca, sílica gel azul e sílica gel laranja. Suas principais características estão descritas na Tabela 3.5.

Todas as sílicas apresentam a mesma capacidade de adsorção e podem ser encontradas em dois tipos de tamanhos, são eles: grão que variam o diâmetro de 1 mm até 4 mm ou grãos que variam de 4 mm até 8 mm.

Tabela 3.4: Tipos de sílica gel.

Cor da Sílica Gel	Principais Características
Branca	Sem indicação de saturação; Baixo custo em relação aos outros tipos de sílica gel; Atóxica.
Azul	Contêm o aditivo cloridato de cobalto, o qual confere a cor rosa à sílica gel quando ela está saturada; Tóxica; Amplamente comercializado.
Laranja	Contêm o componente orgânico violeta de metila, o qual confere a cor laranja à sílica gel; Possui indicador de saturação, a pigmentação laranja torna-se verde quando saturada; Atóxica.

Neste trabalho, optou-se pela sílica gel laranja de 4 mm a 8 mm por ser atóxica e possível de ser utilizada em alimentos. Uma outra característica que contribuiu para a escolha da sílica como dessecante foi o seu processo de regeneração.

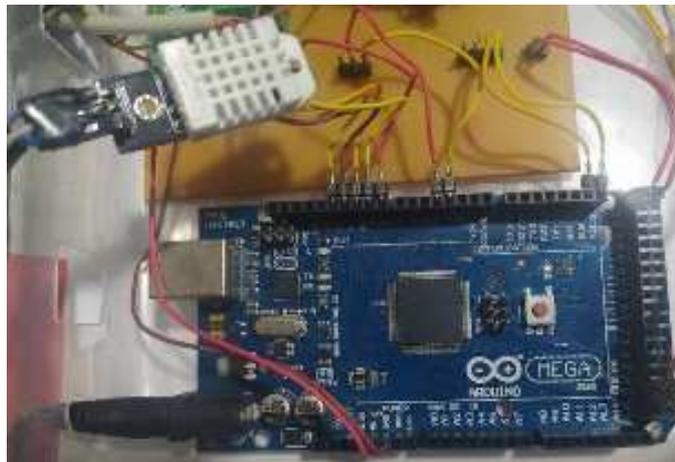
De acordo com a fabricante Sílica Gel SOFT POST®, a regeneração ou ativação ocorre quando a sílica é exposta a temperaturas superiores a 100°C e inferiores a 200°C, por um período de aproximadamente 40 minutos (podendo variar em função de quantidade, tipo de forno ou estufa utilizados). Em geral, nos processos de regeneração, verifica-se uma perda de 10 a 20% em função da fragmentação dos grânulos. Tal perda deverá ser compensada com a adição de material virgem em novos processos de adsorção (<https://softpost.com.br/silica-gel/>).

Após a regeneração, a sílica deve ser guardada em embalagens hermeticamente fechadas e deve ser reutilizada após atingir a temperatura ambiente.

3.4 MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

A temperatura e umidade relativa do ar são fundamentais para a compreensão do processo de secagem e avaliação energética do sistema de secagem. Diante disso, após uma formação sobre a utilização da plataforma Arduino, realizada no LEMT, foi desenvolvido um sistema de medição e aquisição dos dados (SMAD), programado na plataforma de prototipagem Arduino Mega, com a utilização de sensores de temperatura e umidade DHT 22, ilustrado na Figura 3.6.

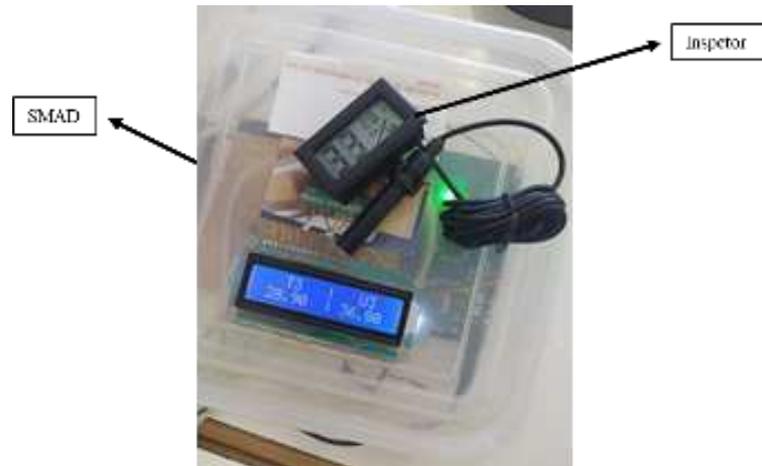
Figura 3.6: Arduino e DHT 22 utilizados no SMAD.



De acordo com o fabricante, o DHT 22 possui faixa de medição de umidade relativa do ar de 0-100%, com precisão de 2-5%. Já a faixa de medição da temperatura é de 40-80°C, com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

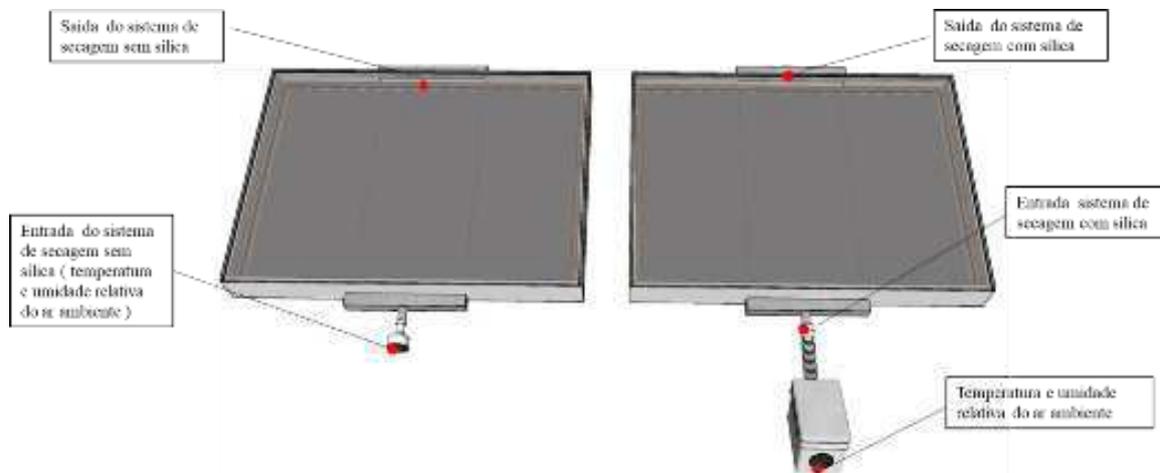
O SMAD desenvolvido e o Termômetro Higrômetro digital com sensor externo (inspetor) utilizado para checar as medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar pelo DHT22 estão ilustrados na Figura 3.7.

Figura 3.7: Sistema de medição e aquisição de dados (SMAD).



Pela Figura 3.6, nota-se que a precisão dos sensores está de acordo com o informado pelo fabricante. Os dados foram obtidos em intervalos de 1 min e os sensores DHT22 foram instalados na entrada e saída do sistema de secagem, conforme ilustrado na Figura 3.8.

Figura 3.8: Posicionamento do DHT22 no sistema de secagem.



Para determinação da irradiação solar incidente em Petrolina, os dados utilizados foram disponibilizados pelo Laboratório de Meteorologia (LABMET), localizado na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) *Campus* Juazeiro, que conta com uma estação meteorológica, mostrada na Figura 3.9, situado a 5,7 km da UPE *Campus* Petrolina (local de realização dos testes experimentais).

Figura 3.9: Estação meteorológica LABMET na UNIVASF *Campus* Juazeiro.



Para os testes experimentais realizados em Campina Grande, foram utilizados os dados obtidos pela estação meteorológica do LEIAM/CEEI/UFCG, ilustrada parcialmente na Figura 3.10.

Figura 3.10: Estação meteorológica do LEIAM/CEEI/UFCG.



Após a medição e aquisição dos dados, foram calculadas a média horária da umidade relativa e da temperatura do ar registradas nas diversas posições de interesse, durante a realização dos experimentos.

3.5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Durante a realização dos experimento foram medidas as seguintes propriedades:

- ✓ Massa do abacaxi;
- ✓ Temperatura do ar ambiente;
- ✓ Temperatura e umidade relativa do ar, depois da unidade dessecante;
- ✓ Temperatura e umidade relativa do ar, na entrada do sistema de secagem com unidade dessecante;
- ✓ Temperatura e umidade relativa do ar, na saída do sistema de secagem;
- ✓ Irradiação solar incidente.

A partir dos valores obtidos para essas propriedades, foi possível calcular o teor de umidade em base úmida do abacaxi e determinar o tempo necessário para que o teor de umidade de 25% fosse atingido, conforme recomendações da RDC/ANVISA n°272. Essa informação foi utilizada como variável dependente no planejamento experimental fatorial.

Além disso, com base nas propriedades supracitados, foi calculado o rendimento térmico de cada um dos sistemas de secagem durante a realização dos experimentos, e realizado o ajuste dos modelos matemáticos adotados aos dados experimentais.

Em dezembro de 2020, foi iniciada a confecção dos protótipos utilizando poliestireno expandido, chapas de alumínio e policarbonato alveolar. A simplicidade no processo de construção, foi uma das preocupações deste trabalho, acredita-se que isso facilitará a disseminação dessa tecnologia entre os produtores da agricultura familiar local; esta etapa de construção, inclusive, foi realizada em parceria com estudantes do Mestrado em Engenharia Mecânica (UFCG) e do Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental (UPE). Na Figura 3.11, são apresentadas algumas etapas da construção.

Figura 3.11: Confeção dos sistemas de secagem solar.



Após a finalização da construção do equipamento, em janeiro de 2021, deu-se início a realização dos testes experimentais. Os testes foram realizados aos pares; em Petrolina e Campina Grande, foram realizados com uma réplica para a realização do planejamento experimental fatorial.

Durante a realização de todos os experimentos, a velocidade do ar foi de 1,5 m/s e a vazão mássica de 0,002767 kg/s.

O abacaxi da variedade Pérola foi adquirido no comércio local da cidade de Petrolina - PE e Campina Grande - PB. Os frutos foram selecionados observando-se a uniformidade e grau de maturação dos produtos. A Figura 3.12 mostra um abacaxi utilizado no teste realizado no dia 25/03/2021. Os frutos selecionados foram higienizados, descascados e cortados manualmente em rodela de aproximadamente $1,0 \pm 0,2$ cm. O miolo do produto foi retirado e, na sequência, as amostras foram pesadas e colocadas no sistema de secagem solar.

As amostras, duas fatias de abacaxi, foram dispostas no centro da bandeja do sistema de secagem e foram pesadas em uma balança digital, com resolução de 0,01 g, a cada 60 min, até que fosse atingido o valor estimado para o teor de umidade em base úmida recomendado pela RDC n° 22 da Anvisa, que é de 25%.

Figura 3.12: Abacaxi pérola adquirido no mercado local.



Os dados experimentais referentes à variação da massa do produto durante o processo de secagem foram obtidos com o uso de uma balança digital da marca Clink. Quando as amostras não atingiam a massa desejada ao fim do primeiro dia de experimento, elas eram armazenadas individualmente em embalagens hermeticamente fechadas para que o processo de secagem continuasse no dia seguinte.

Atingindo a massa desejada, as amostras eram colocadas no interior de uma estufa de Secagem e Esterilização SL-100, a uma temperatura de 70°C por um período de 24 h, para a obtenção da massa de equilíbrio. Em seguida, as amostras eram mantidas sob as mesmas condições por mais um período de 24 h para a obtenção da massa seca do produto, conforme metodologia empregada por Farias (2011).

3.6 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL

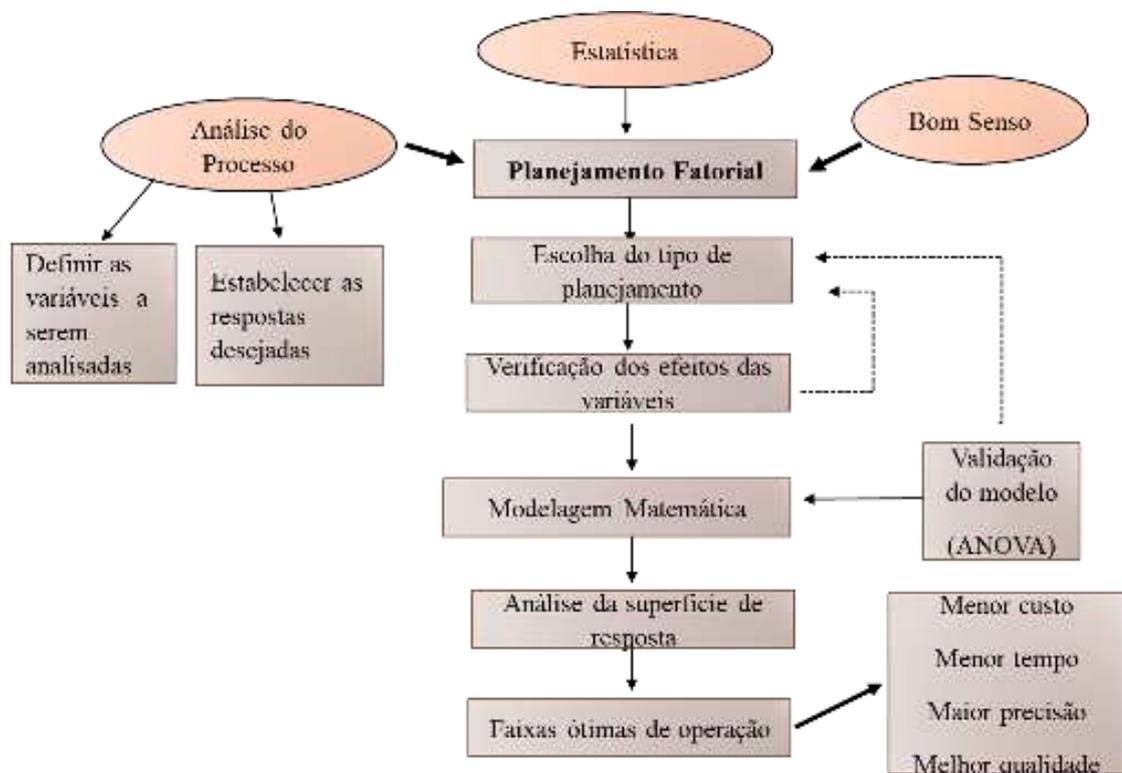
O planejamento experimental, particularmente a metodologia de superfície de resposta, é uma técnica que vem sendo utilizada para otimização de produtos e processos e consiste em um grupo de procedimentos matemáticos e estatísticos que são usados para estudar a relação entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes ou variáveis de saída) e um número de fatores (variáveis independentes ou variáveis de entrada), como representado na Figura 3.13.

Figura 3.13: Variáveis do planejamento experimental fatorial.

Fonte: Rodrigues e Inemma (2014).

A necessidade crescente da otimização de produtos e processos, minimizando custos e tempo, maximizando rendimentos, produtividade e qualidade de produtos, tem levado profissionais de diferentes formações a buscarem técnicas sistemáticas de planejamento de experimentos (RODRIGUES e INEMMA, 2014).

O experimento projetado, ou planejado, segue o fluxograma apresentado na Figura 3.14. É um teste, ou uma série de testes, nos quais se induzem mudanças deliberadas ou estímulos nas variáveis de entrada do processo ou sistema.

Figura 3.14: Fluxograma planejamento experimental fatorial.

Fonte: Adaptado Rodrigues e Inemma (2014).

Usando esta técnica para realizar os testes experimentais, é possível estimar os efeitos principais das variáveis na resposta ou na variável dependente. A partir da tabela de análise de variância (ANOVA), obtém-se informações sobre o quanto o ajuste foi adequado, sendo possível propor o modelo probabilístico que correlaciona a resposta em função das variáveis estudadas, construindo a superfície de resposta para determinar a faixa ótima de operação.

Segundo Montgomery (2013), as técnicas de planejamento e análise de experimentos são utilizadas basicamente para melhorar as características de qualidade dos produtos ou processos de fabricação, reduzir o número de testes e otimizar o uso.

O planejamento experimental será conduzido a partir da predeterminação de níveis (N) para cada fator (K), denotando-se um esquema fatorial completo por N^K . Na tentativa de otimizar o processo de secagem, foi proposta a alteração e adoção de alguns componentes ao sistema capazes de auxiliar o fornecimento de energia ao longo do dia (alteração no formato da cobertura do sistema de secagem solar) e melhorar a capacidade de absorção de umidade do fluido de trabalho (uso do dessecante).

Logo, a análise fatorial dos componentes será formada por dois fatores e os níveis serão qualitativos (plana ou convexa; e com ou sem o dessecante), ou seja, dois níveis resultando num planejamento fatorial $2^2 = 4$ experimentos.

Para atender a um dos objetivos propostos neste trabalho, esse planejamento foi realizado em condições meteorológicas distintas nas duas cidade. Tal estratégia foi adotada para definir qual a melhor configuração do sistema de secagem solar em estações do ano distintas (outono/inverno e primavera/verão).

A codificação das variáveis e a matriz do planejamento usadas no planejamento experimental estão apresentadas a seguir:

a) Codificação das variáveis:

- ✓ Cobertura do Sistema de Secagem: [+1] Cobertura Convexa e [-1] Cobertura Plana;
- ✓ Unidade dessecante: [+1] Com e [-1] Sem.

b) Matriz do planejamento (ver Tabela 3.5)

Tabela 3.5: Matriz do planejamento experimental fatorial.

Experimento	Variáveis		Respostas	
	Cobertura	Unidade Dessecante	t_1 (min)	t_2 (min)
1	+1 [Convexa]	+1 [Com]		
2	-1 [Plana]	+1 [Com]		
3	+1 [Convexa]	-1 [Sem]		
4	-1 [Plana]	-1 [Sem]		

t_1 tempo de secagem do experimento; t_2 - tempo de secagem da réplica.

Para cada experimento foi realizado uma réplica, conforme apresentado na Tabela 5.3. De acordo com Rodrigues e Inemma (2014), por meio das réplicas é possível fazer a estimativa do erro experimental e aumentar a precisão de um experimento pela redução do erro padrão.

3.7 RENDIMENTO TÉRMICO

O rendimento térmico do sistema de secagem foi obtido por meio da aplicação do balanço de energia levando em consideração dados referentes à temperatura e umidade relativa do fluido de trabalho. Como o SMAD desenvolvido mede e registra os dados de temperatura e umidade relativa do ar, essas informações serão utilizadas para calcular o rendimento térmico do sistema durante a realização dos experimentos.

Para isso, faz-se necessário a aplicação do Princípio da Conservação da Energia e de Massa para um volume de controle e da Primeira Lei da Termodinâmica, as quais serão descritas a seguir:

Princípio de Conservação de Massa: A taxa temporal de variação de massa contida no interior do volume de controle no instante (t) é igual a taxa temporal de fluxo de massa através da entrada (e) no instante (t) menos a taxa temporal de fluxo de massa através da saída (s) no instante (t). Este enunciado pode ser representado simbolicamente como:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s \quad (\text{Equação 10})$$

onde,

$\frac{dm_{vc}}{dt}$ - taxa temporal da variação de massa contida no interior do volume de controle ($\frac{kg}{s}$);

\dot{m}_e e \dot{m}_s – taxas de fluxo de massa instantâneas na entrada e saída, respectivamente ($\frac{kg}{s}$).

Neste trabalho, será considerado um escoamento unidimensional para o fluido; assim, a taxa de fluxo de massa pode ser calculada pela Equação 11.

$$\dot{m} = \rho AV \quad (\text{Equação 11})$$

onde,

ρ - massa específica do fluido de trabalho ($\frac{kg}{m^3}$);

A - área através da qual o fluido escoo (m^2);

V - velocidade de escoamento do fluido de trabalho ($\frac{m}{s}$).

Durante a realização dos testes experimentais, a medição da velocidade do ar foi feita por meio de um anemômetro digital portátil, mostrado na Figura 3.15, modelo VEC-GM 8901, marca Vectus, pertencente ao LEMT/UFCG.

Figura 3.15: Anemômetro utilizado.



Primeira Lei da Termodinâmica (Lei da Conservação de Energia): A taxa temporal de variação da energia armazenada no interior de um volume de controle no instante t é igual à

diferença entre as taxas totais de transferência de energia de entrada e saída. Em linguagem simbólica, a Primeira Lei da Termodinâmica pode ser representada pela Equação 12.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - W_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_e \dot{m}_s \left(h_s + \frac{v_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (\text{Equação 12})$$

onde,

$\frac{dE_{vc}}{dt}$ – taxa temporal da variação de energia contida no interior do volume de controle (W);

\dot{Q}_{vc} – taxa de transferência de calor ao longo da fronteira do volume de controle (W);

W_{vc} – taxa de transferência de trabalho ao longo da fronteira do volume de controle (W);

\dot{m}_e e \dot{m}_s – taxas de fluxo de massa instantâneas na entrada e saída, respectivamente ($\frac{kg}{s}$);

v_e e v_s - velocidade do fluido na entrada e saída, respectivamente, do volume de controle ($\frac{m}{s}$);

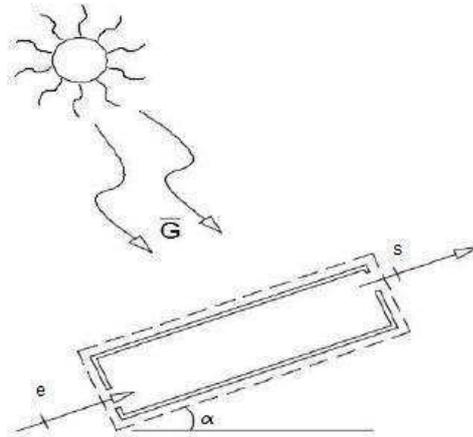
g – aceleração da gravidade ($\frac{m}{s^2}$);

z_e e z_s – valor absoluto da posição vertical da entrada e saída, respectivamente, do volume de controle (m);

h_e e h_s – entalpia específica do fluido na entrada e saída, respectivamente, no volume de controle ($\frac{kJ}{kg}$).

Para calcular o rendimento térmico do sistema de secagem proposto neste trabalho, foi considerada a representação esquemática do volume de controle ilustrado na Figura 3.16.

Figura 3.16: Representação esquemática do volume de controle.



Fonte: Adaptado Nunes (2016).

Ao analisar o volume de controle para o secador solar proposto, deve-se levar em consideração que a massa de ar que sai é igual a massa de ar que entra mais a massa de água, retirada do abacaxi, cuja equação matemática é dada por:

$$\dot{m}_s = \dot{m}_e + \dot{m}_{\text{água retirada do produto}} \quad (\text{Equação 13})$$

onde,

\dot{m}_s - vazão mássica de ar na saída do volume de controle (kg/s);

\dot{m}_e - vazão mássica de ar na entrada do volume de controle (kg/s);

$\dot{m}_{\text{água retirada do produto}}$ - vazão mássica da água retirada do abacaxi (kg/s).

Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica e considerando que a energia cinética e a energia potencial na entrada e saída do secador solar são iguais, o que é aceitável, dadas as características construtivas e operacionais do equipamento e considerando que o trabalho realizado pelo secador solar é nulo, porque o secador solar não é uma máquina térmica e sim um aparelho térmico, a Equação 12 fica reduzida à Equação 14.

$$\dot{Q}_{vc} + \dot{m}_e h_e = \dot{m}_e h_s + h_v \dot{m}_{\text{água retirada do produto}} \quad (\text{Equação 14})$$

onde,

h_v = entalpia de vaporização da água na temperatura de saída ($\frac{J}{kg}$).

Como \dot{Q}_{vc} é o \dot{Q}_{real} , isto é, \dot{Q}_{vc} é a energia transferida para o fluido de trabalho e denotando

$$\dot{E}_b = h_v \dot{m}_{\text{água retirada do produto}} \quad (\text{Equação 15})$$

A Equação 14 pode ser reescrita como:

$$\dot{Q}_{real} + \dot{m}_e h_e = \dot{m}_s h_s + \dot{E}_b \quad (\text{Equação 16})$$

Ao aplicar o conceito de eficiência térmica, pela Segunda Lei da Termodinâmica, para um volume de controle e considerando a vazão mássica de entrada e saída diferentes, dadas as características construtivas do equipamento, obtém-se a Equação 17, a qual representa o rendimento térmico do secador solar proposto.

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{Q}_{solar}}$$

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{\dot{m}_{ar}(h_s - h_e) + \dot{E}_b}{\dot{Q}_{solar}} \quad (\text{Equação 17})$$

onde,

\dot{m}_{ar} - representa a vazão mássica do ar que sai do secador solar sem levar em consideração o vapor de água retirado do produto a ser seco; e

$$\dot{Q}_{solar} = A \cdot \bar{G} \quad (\text{Equação 18})$$

sendo,

A - área da cobertura transparente do secador solar (m^2);

\bar{G} - média de irradiação solar incidente sobre o secador solar durante o processo de secagem ($\frac{W}{m^2}$).

3.8 DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM

Para obtenção das curvas experimentais de secagem em cada experimento, serão calculadas a razão de umidade, através da Equação 19, plotada em gráfico em função do tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (\text{Equação 19})$$

onde,

RX - razão de umidade, base seca;

X - teor de umidade, base seca;

X_e - teor de umidade de equilíbrio, base seca;

X_0 - teor de umidade inicial, base seca.

Os dados obtidos durante a realização do experimento foram ajustados a três modelos matemáticos descritos na Tabela 3.6 e frequentemente utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícola. Esses modelos foram ajustados aos dados experimentais da secagem do abacaxi por meio de regressão não linear pelo método Quasi-Newton, através do *software* STATISTICA versão 7.0.

Tabela 3.6: Modelos matemáticos para prever a secagem de produtos agrícolas.

Designação do Modelo	Modelo	Equação
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(20)
Lewis	$RX = \exp(-k \cdot t)$	(21)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(22)

Em que: t - tempo de secagem (min); k, k_0 , k_1 - constantes de secagem(min^{-1}); a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

O critério de escolha do modelo que apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação (R^2).

Capítulo IV
RESULTADOS E DISCUSSÕES

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos durante a realização dos experimentos referentes: a variação do teor de umidade em base úmida do abacaxi, a melhor configuração para o sistema de secagem visando a redução do tempo de secagem, análise do rendimento térmico e a cinética de secagem. Os dados são apresentados de acordo com o período de realização dos testes, a saber, outono/inverno e primavera/verão em Petrolina e em Campina Grande, nos quatro sistemas de secagem.

4.1 TESTES EXPERIMENTAIS REALIZADOS NO OUTONO/INVERNO

Durante o outono/inverno, o sol se põe em torno das 17 h e, por esta razão, optou-se por realizar os experimentos em Petrolina entre 8 h e 16 h ou até que as amostras atingissem o teor de umidade em base úmida desejado. Durante a realização dos experimentos em Campina Grande, o clima estava instável, apresentando pancadas de chuva no início da manhã e no fim da tarde. Por esta razão, optou-se por iniciar os experimentos às 9 h.

4.1.1 Testes experimentais realizados em Petrolina

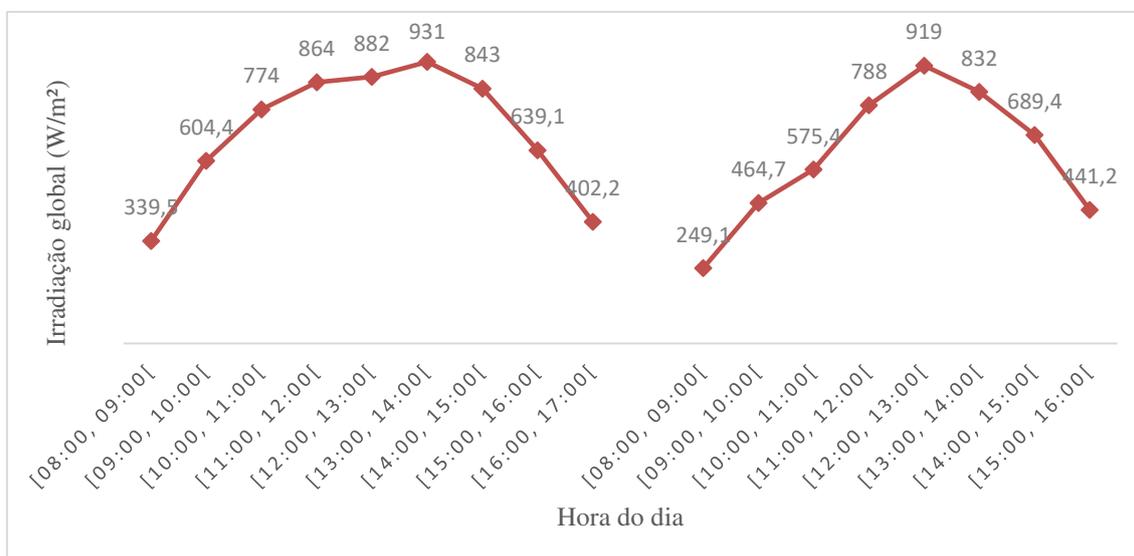
Nos dias 25 e 26 de março de 2021, foi realizado um teste experimental para a secagem de abacaxi com os sistemas de secagem SSI e SSII. Como ilustrado na Figura 4.1, o SSI é o sistema de secagem solar com cobertura plana e sem unidade dessecante; já o SSII é o sistema de secagem solar com cobertura plana e com unidade dessecante.

Figura 4.1: Experimento SSI xSSII (25 e 26/03/2021)



A irradiação solar registrada durante a realização do experimento está ilustrada na Figura 4.2.

Figura 4.2: Irradiação global diária em Petrolina (25 e 26/03/2021).



Fonte: LABMET/UNIVASF.

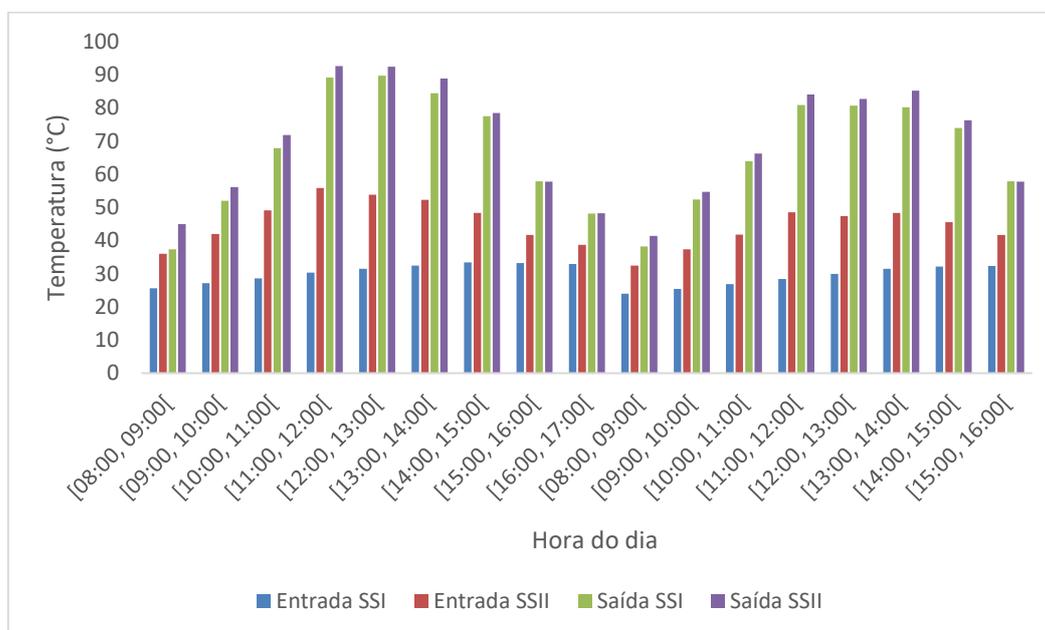
A ausência de nuvens no dia 25 de março fez com que a variação de irradiação solar apresentasse um comportamento quase simétrico ao longo do dia. A manhã do dia 26 de março estava nublada e, por isso, o crescimento da irradiação solar ocorreu de forma

mais lenta do que no dia anterior. Após as 12 h, como o céu estava limpo, o decréscimo da irradiação solar foi similar ao do dia 25.

A irradiação solar média registrada durante a realização dos experimentos foi de $630,7 \text{ W/m}^2$. Os maiores valores de irradiação solar, nos dois dias, foram registrados entre as 11 h e 14 h. Sendo as máximas registradas de 931 W/m^2 às 13 h do dia 25/03 e de 919 W/m^2 às 12 h do dia 26/03.

A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4.3. Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela A1 do Apêndice A.

Figura 4.3: Temperatura do ar no SSI x SSII (25 e 26/03/2021).



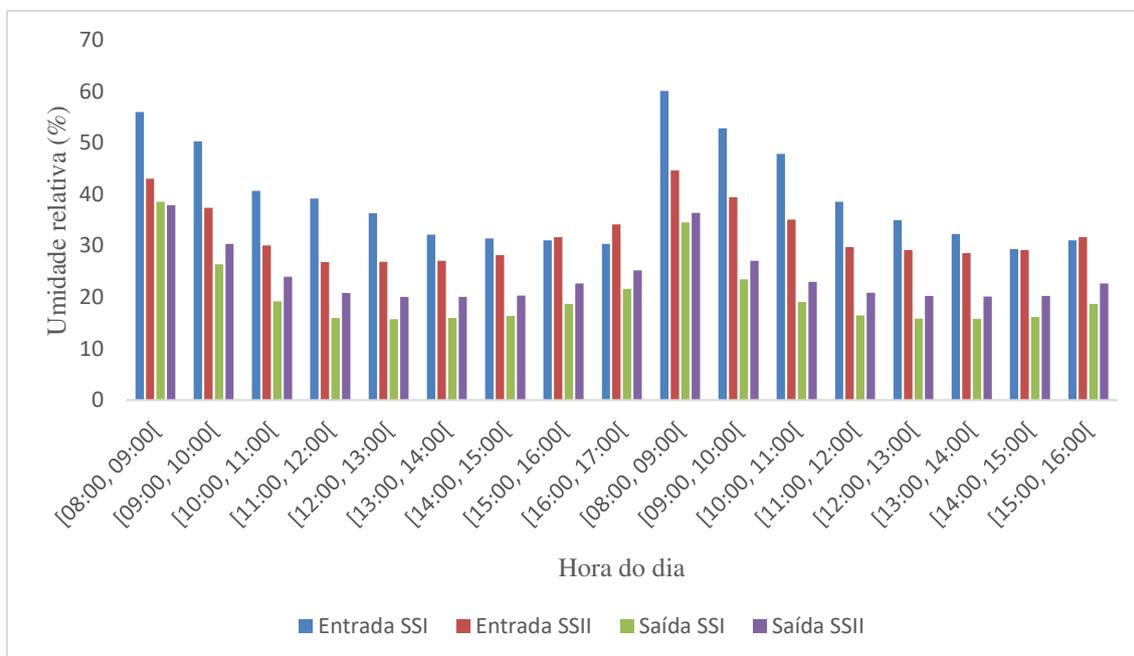
A média de temperatura do ar ambiente (entrada de ar do SSI) foi de $29,73^\circ\text{C}$. O sistema de secagem SSII apresentou um acréscimo, médio, de temperatura na entrada do sistema de secagem de $14,82^\circ\text{C}$ em relação a temperatura na entrada do SSI.

O aumento da temperatura do ar na entrada do SSII durante toda a realização do experimento é justificado pelo processo de adsorção sofrido pelo ar ao passar pela unidade dessecante.

Já na saída dos sistemas, as temperaturas do ar permaneceram próximas e houve uma diferença máxima de 5°C às 13 h no dia 26 de março.

Os valores registrados da umidade relativa do ar durante a realização dos experimentos estão detalhados na Tabela A1 do Apêndice A e ilustrados na Figura 4.4.

Figura 4.4: Umidade relativa do ar no SSI x SSII (25 e 26/03/2021).

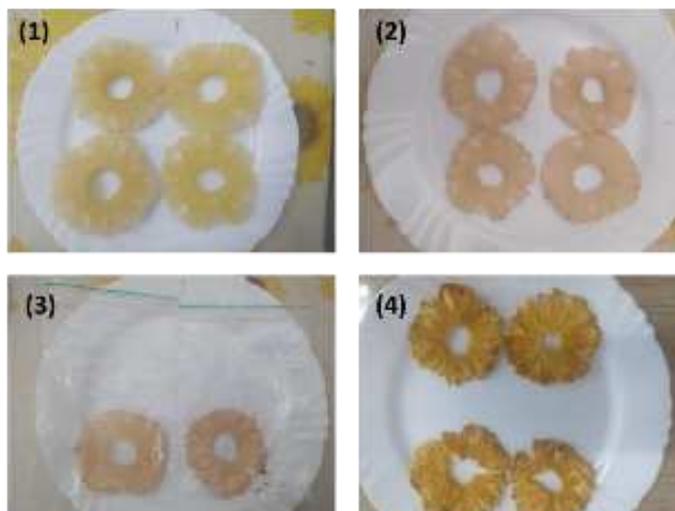


A utilização da unidade desecante reduziu significativamente a umidade relativa do ar na entrada do SSII em relação ao SSI, exceto após as 14 h, período em que a sílica mudou de cor sinalizando saturação.

O menor valor registrado para a umidade relativa do ar na entrada do SSI e do SSII, foi de 30,35% às 16 h e 26,87% às 11 h, no dia 25 de março. Na saída dos sistemas de secagem, foi observado um comportamento inverso: o menor valor registrado da umidade relativa do ar, no SSI e no SSII, foi de 16,00% às 11 h e 26,87% às 12 h, no dia 25 de março.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial de 86,2%. Como ao fim do primeiro dia de experimento as amostras não haviam atingido o teor de umidade em base úmida, recomendado pela Anvisa, as amostras foram guardadas em embalagens hermeticamente fechados e a secagem foi continuada no dia seguinte. A Figura 4.5, ilustra esse processo.

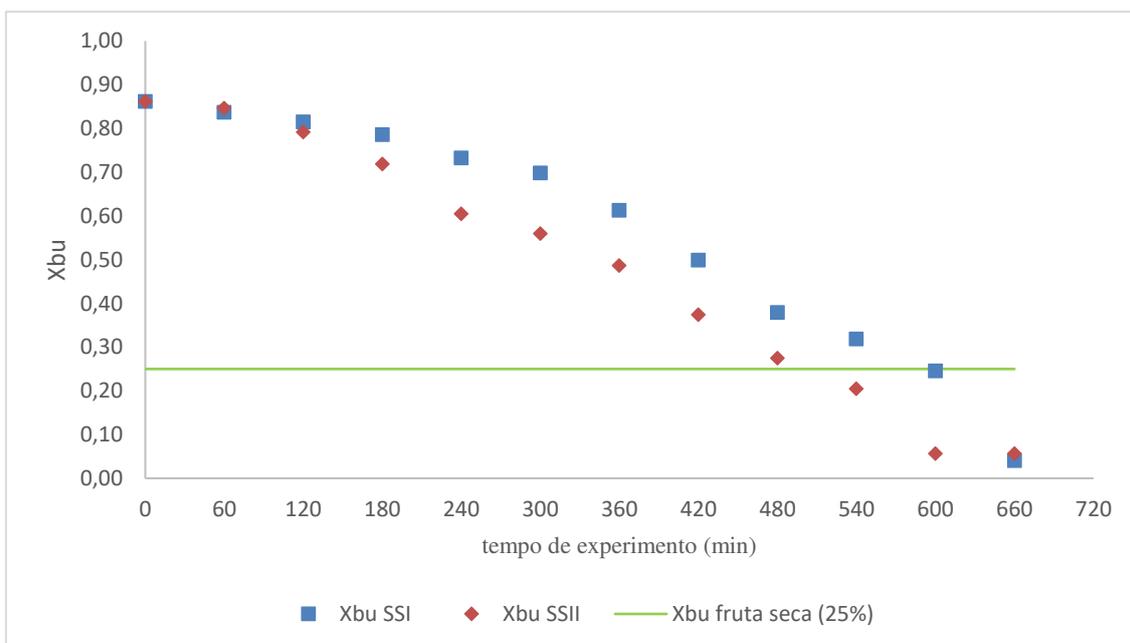
Figura 4.5: Amostra de abacaxi durante o processo de secagem



- (1) Fatia de abacaxi in natura; (2) Fatia de abacaxi após o primeiro dia de secagem; (3) Armazenamento das fatias; (4) Fatia de abacaxi após o segundo dia de secagem.

A variação do teor de umidade do abacaxi em base úmida nos dois sistemas de secagem apresentou um comportamento decrescente após 120 min do início do experimento, conforme ilustrado na Figura 4.6. Os valores detalhados estão registrados na Tabela A2 do Apêndice A.

Figura 4.6: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (25 e 26/03/2021).



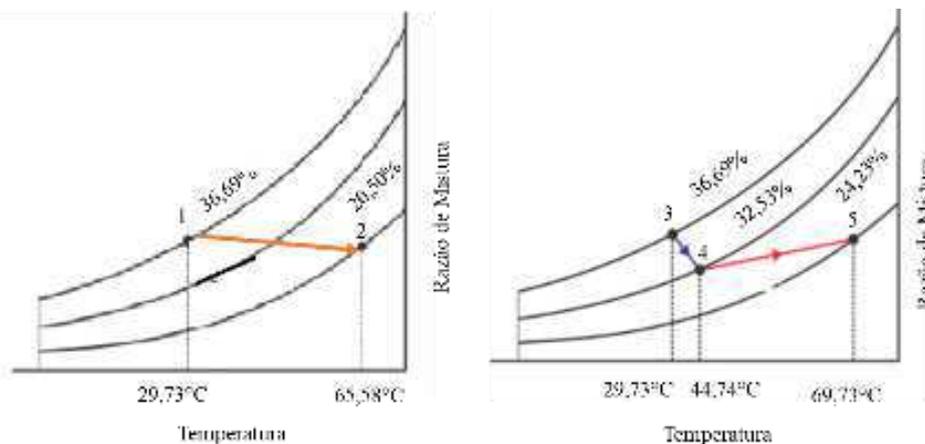
No SSII, o teor de umidade recomendado pela Anvisa foi atingido, aproximadamente, após 490 min do início da secagem. Já no SSI, foram necessários 600 min.

A relação entre a redução da umidade relativa do ar e do aumento da temperatura do ar na entrada do SSII e a velocidade do decaimento do teor de umidade é perceptível após as 10 h do dia 25 de março (120 min de duração do experimento).

A Figura 4.7 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e da umidade relativa do ar durante a realização dos experimentos no SSplano, sendo que:

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada do SI;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na saída do SI;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na entrada da unidade dessecante no SSII, o mesmo da entrada do SSI;
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na entrada do SSII, ou seja, na saída da unidade dessecante; e
- ✓ ponto 5 representa o estado termodinâmico 5, na saída do SSII.

Figura 4.7: Condições psicrométricas do ar no SSplano (25 e 26/02/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar ambiente passa do estado 1 para o estado 2 ao entrar no SSI. O ar ambiente é aquecido devido ao efeito estufa no interior do secador solar, com esse aumento da temperatura do ar (de 29,73°C para 65,58°C), ocorre uma redução da umidade relativa (de 39,69% para 20,50%).

O ar aquecido e com uma umidade relativa menor, ao entrar em contato com as amostras de abacaxi, provoca uma transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e uma transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

3 → 4 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 3 para o estado 4 ao entrar na unidade dessecante do SSII. Neste processo, ocorre, decorrente do processo de adsorção, o aumento da temperatura do ar (de 29,73°C para 44,74°C) e redução da umidade relativa do ar (de 39,69% para 32,53%).

4 → 5 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 4 para o estado 5, ao entrar no SSII. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 44,74°C para 69,37°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e uma redução da umidade relativa do ar (de 32,53% para 24,23%). Conseqüentemente, sob essas condições, ocorre transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

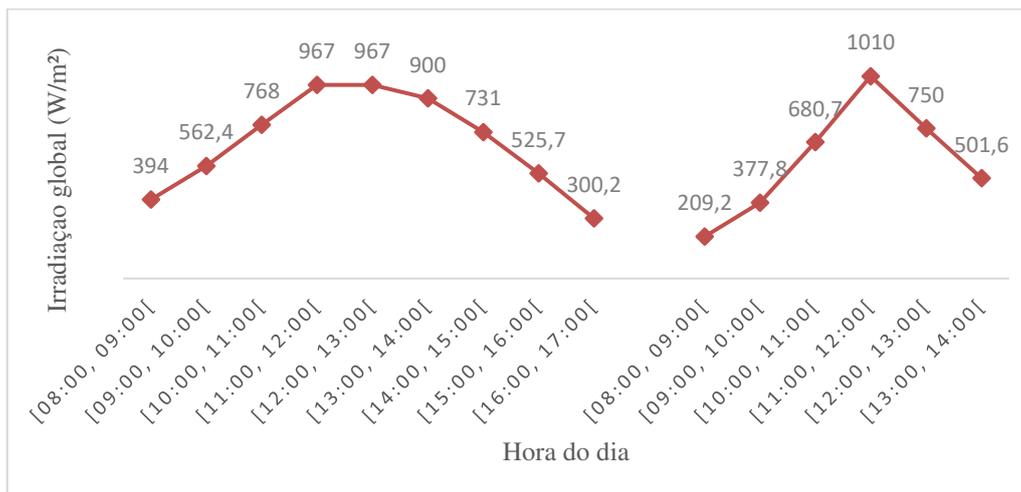
Nos dias 13 e 14 de abril de 2021, foi realizado teste experimental para a secagem de abacaxi nos sistemas de secagem com cobertura convexa e sem unidade dessecante (SSIII) e no sistema com cobertura convexa e com unidade dessecante (SSIV), como ilustrado na Figura 4.8.

Figura 4.8: Experimento SSIII x SSIV (13 e 14/04/21)



A irradiação solar média durante a realização dos experimentos foi de 642,97 W/m². No período entre as 11 h e 12 h, foram registados os maiores valores de irradiação solar, como ilustrado na Figura 4.9.

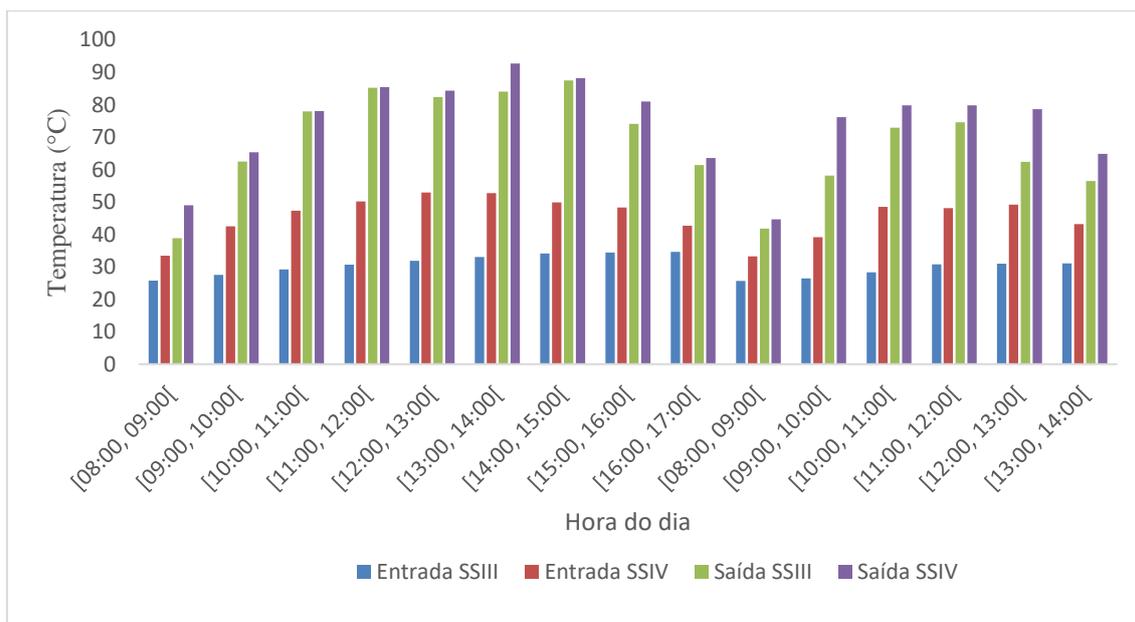
Figura 4.9: Irradiação global diária em Petrolina (13 e 14/04/2021).



Fonte: LABMET/UNIVASF.

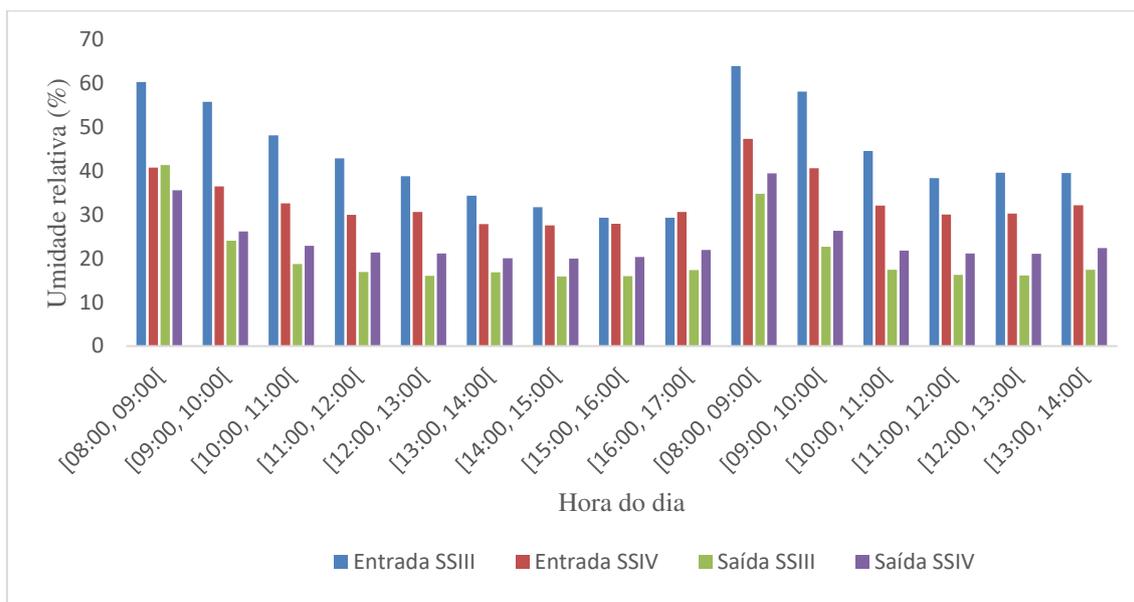
O comportamento da irradiação solar no dia 13 de abril é similar aos observados nos testes realizados no verão. No entanto, no dia 14 de abril, percebe-se um crescimento lento da irradiação solar no período da manhã e isso ocorreu devido à quantidade de nuvens do tipo cumulus durante esse período do dia.

A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4.10. Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela A3 do Apêndice A.

Figura 4.10: Temperatura do ar no SSIII x SSIV (13 e 14/04/2021).

Em geral, os maiores valores para a temperatura do ar foram registrados no SSIV durante toda a realização do experimento. A temperatura média do ar ambiente (entrada do SSIII) foi de 30,32°C. O SSIV apresentou um acréscimo de temperatura médio na entrada do sistema de secagem de 15,12°C em relação à entrada do SSIII. Um comportamento similar foi observado na saída dos sistemas de secagem.

A Figura 4.11 mostra que ocorreu uma variação significativa da umidade relativa do ar na entrada do SSIV em comparação à umidade relativa do ar ambiente (entrada do SSIII) durante a realização do experimento. Os valores detalhados da umidade relativa do ar estão registrados na Tabela A3 do Apêndice A.

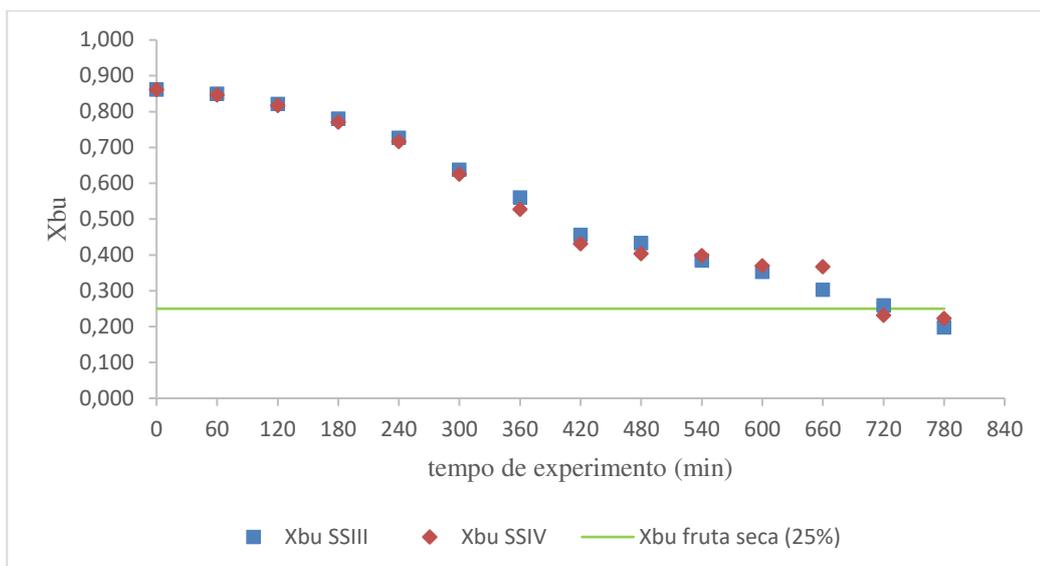
Figura 4.11: Umidade relativa do ar no SSIII x SSIV (13 e 14/04/2021).

A média da umidade relativa do ar na entrada e saída do SSIII e SSIV foram 43,70%, 33,17%, 20,56% e 24,15%, respectivamente.

Apesar dos valores da umidade relativa do ar na entrada do SSIV serem menores durante a maior parte do experimento, a umidade relativa do ar às 16 h do dia 13/04, na entrada do SSIV, foi superior a do SSIII e isso ocorreu devido à saturação da sílica.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial de 86,1%, conforme registrado na Tabela A4 do Apêndice A. Apesar de não haver variação significativa entre o teor de umidade nos dois sistemas de secagem, como pode ser observado na Figura 4.12, houve uma redução de 60 min no tempo de secagem das amostras de abacaxi no SSIV em comparação às amostras no SSIII.

Figura 4.12: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (13 e 14/04/2021).

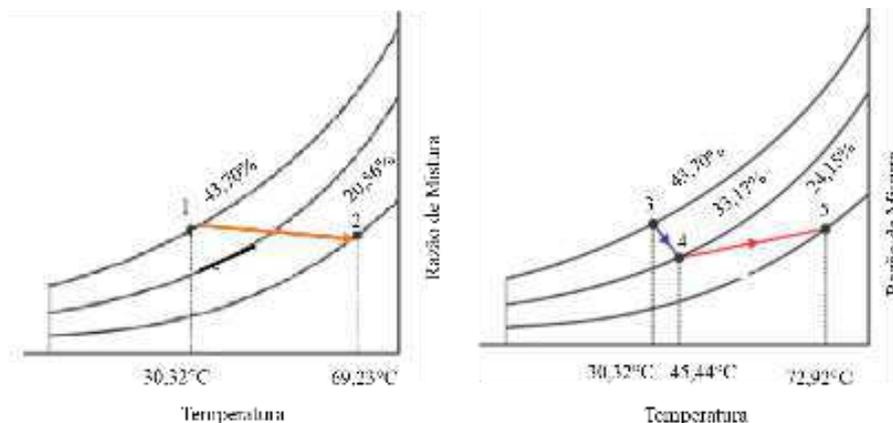


Pode-se inferir que a redução no tempo de secagem do sistema com dessecante está diretamente relacionada à redução da umidade relativa do ar e o aumento da temperatura do ar na entrada do SSIV.

A Figura 4.13 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no SSconvexo.

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada do SIII;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na saída do SIII;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na entrada da unidade dessecante no SSIV, o mesmo da entrada do SSIII;
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na entrada do SSIV, ou seja, na saída da unidade dessecante; e
- ✓ ponto 5 representa o estado termodinâmico 5, na saída do SSIV.

Figura 4.13: Condições psicrométricas do ar no SSconvexo (13 e 14/04/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar ambiente passa do estado 1 para o estado 2 ao passar no SSIII. O ar ambiente é aquecido por meio da energia transferida pelo capacitor térmico e, com esse aumento da temperatura do ar (de 30,32°C para 69,23°C), ocorre uma redução da umidade relativa (de 43,70% para 20,56%).

O ar aquecido e com uma umidade relativa menor, ao entrar em contato com as amostras de abacaxi, provoca uma transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e uma transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem das amostras.

3 → 4 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 3 para o estado 4 ao passar na unidade dessecante do SSIV. Neste processo, decorrente do processo de adsorção, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 30,32°C para 45,44°C) e redução da umidade relativa do ar (de 43,70% para 33,17%).

4 → 5 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 4 para o estado 5, ao entrar no SSII. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 45,44°C para 72,92°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, consequentemente, uma redução da umidade relativa do ar (de 33,17% para 24,15%). Sob essas condições, ocorre, também, transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

As réplicas, necessárias para a realização do planejamento experimental fatorial, foram realizadas nos dias 16 e 17 de abril de 2021 para os sistemas de secagem com cobertura plana e nos dias 28 e 29 de abril de 2021 para os sistemas de secagem com cobertura convexa. Os valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e cálculo do teor de umidade em base úmida obtidos durante a realização dos experimentos estão registrados nas Tabelas A5 a A8 do Apêndice A.

4.1.2 Testes experimentais realizado em Campina Grande

Como é característico do outono/inverno em Campina Grande, o céu estava nublado durante os dias planejados para a realização dos experimentos e ocorreram algumas pancadas de chuva no início da manhã e final da tarde. Por esta razão, os experimentos foram realizados em dias consecutivos ou em mais de dois dias.

Nos dias 03, 04 e 06 de maio de 2021, foi realizado teste experimental para a secagem de abacaxi no SSIII e no SSIV do *solarium* do LEMT, conforme mostrado na Figura 4.14.

Figura 4.14: Experimento SSIII x SSIV (03, 04 e 06/05/2021).



A variação de irradiação solar durante a realização do experimento está ilustrada na Figura 4.15. A irradiação solar média, durante a realização dos experimentos, foi de 425,51 W/m².

Figura 4.15: Irradiação global diária em Campina Grande (03, 04 e 06/05/2021).



Fonte: LEIAM/UFMG.

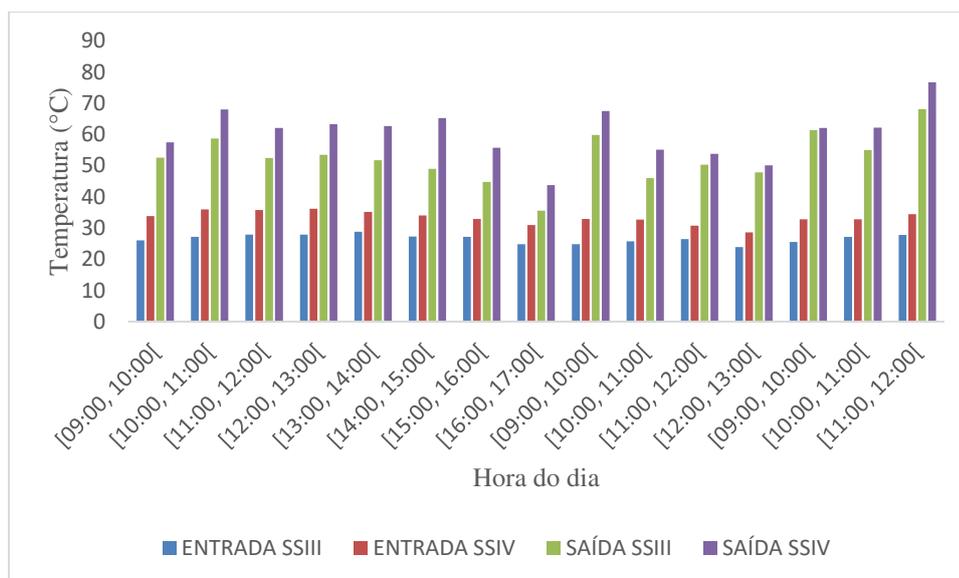
No dia 03 de maio, nota-se uma oscilação entre os valores registrados de irradiação solar, no período entre as 9 h e 13 h devido à quantidade de nuvens do tipo cirrus. A máxima registrada, nesse dia, foi de 617,92 W/m² às 13 h; após esse horário, as nuvens evoluíram para nuvens do tipo cumulus, culminando em chuva por volta das 15 h 30 min.

No dia 04, apesar da presença de nuvens do tipo cumulus, optou-se por continuar a realização do experimento a fim de analisar a relevância da sílica gel. No entanto, por volta das 11 h ocorreu uma pancada de chuva; como ela não cessou até 12 h, foi decidido interromper o processo de secagem.

Como o clima manteve-se instável no dia 05, o experimento só foi finalizado no dia 06 de maio. Nesse dia, o céu apresentava poucas nuvens do tipo cirrus, os valores obtidos da irradiação solar apresentaram um comportamento similar ao do dia 04, sendo a máxima de 863,3 W/m², registrada às 11 h.

As temperaturas do ar registradas nos sistemas de secagem solar em Campina Grande foram menores do que as registradas em Petrolina, mas ainda se mantiveram na faixa de temperatura recomendada para a secagem de frutas, conforme ilustrado na Figura 4.16.

Figura 4.16: Temperatura do ar no SSIII x SSIV (03, 04 e 06/05/2021).



Os valores detalhados da temperatura do ar durante a realização do experimento estão registrados na Tabela A9 do Apêndice A.

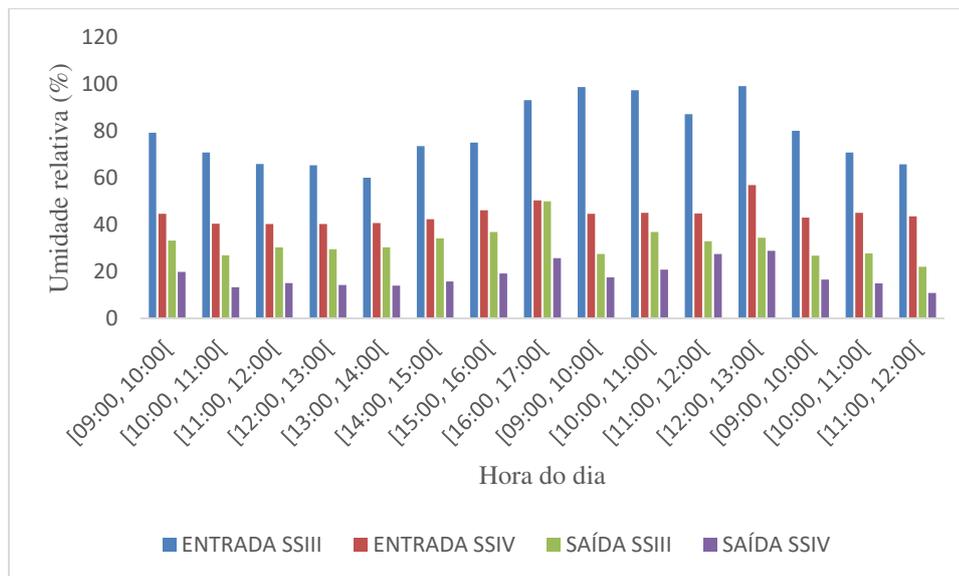
O SSIV apresentou maiores valores de temperatura em comparação ao SSIII durante toda a realização do experimento. A média das temperaturas do ar na entrada do SSIII e SSIV foram $26,57^{\circ}\text{C}$ e $33,32^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Na saída dos sistemas de secagem, o SSIV também registrou maiores valores para a temperatura do ar. A média da temperatura do ar na saída do SSIII e SSIV foram $52,45^{\circ}\text{C}$ e $60,39^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Pela Figura 4.17, fica nítido a relevância da unidade dessecante na redução da umidade relativa do ar na entrada do sistema de secagem, principalmente em dias com altos valores para a umidade relativa do ar, como no dia 04 de maio.

Os valores detalhados da umidade relativa do ar nos sistemas de secagem estão registrados na Tabela A9 do Apêndice A.

Figura 4.17: Umidade relativa do ar no SSIII x SSIV (03, 04 e 06/05/2021).

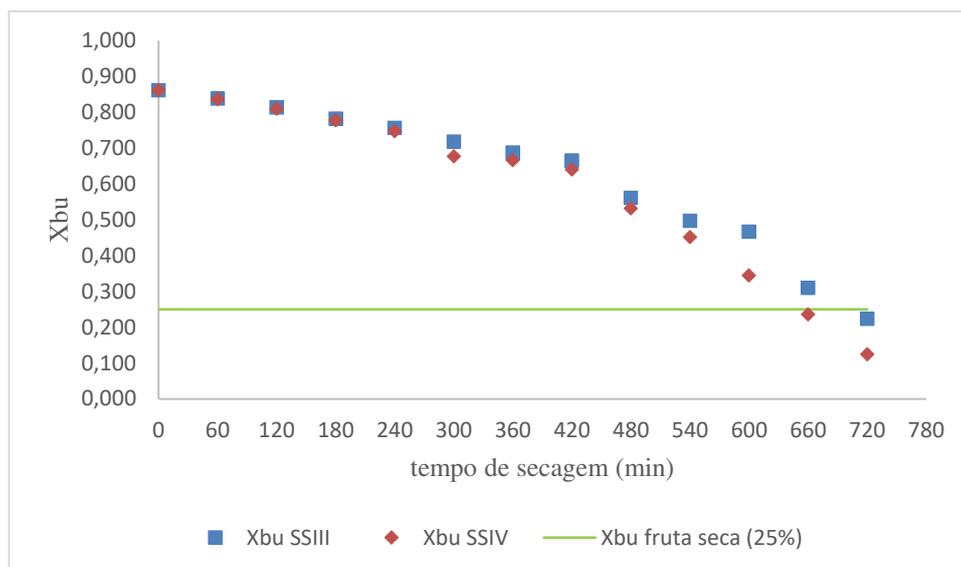


A média da umidade relativa do ar na entrada do SSIII e do SSIV foram 78,94%, 44,60%, respectivamente. Durante a realização desse experimento, foi observada uma diferença significativa entre a umidade relativa do ar na entrada do SSIV e a umidade relativa do ar ambiente (entrada do SSIII).

Em relação à umidade relativa do ar na saída dos sistemas de secagem solar, a média registrada foi 32,01% e 18,30% para SSIII e SSIV, respectivamente.

A variação do teor de umidade do abacaxi em base úmida é ilustrado na Figura 4.18. Os valores detalhados para o cálculo do teor de umidade estão registrados na Tabela A10 do Apêndice A.

Figura 4.18: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (03, 04 e 06/05/2021).

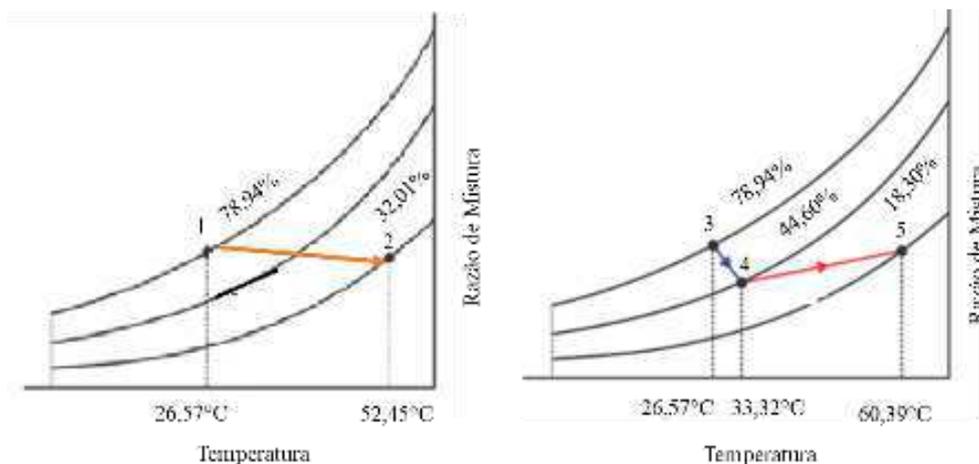


As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade em base úmida inicial de 86,1%. As amostras no SSIV atingiram o teor de umidade em base úmida de 25% após, aproximadamente, 650 min do início da realização do experimento; enquanto que, no SSIII, foram necessários 700 min, aproximadamente.

A Figura 4.19 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e umidade relativado ar de secagem durante a realização do experimento no sistema de secagem com cobertura convexa, onde:

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada do SIII;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na saída do SIII;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na entrada da unidade dessecante no SSIV, o mesmo da entrada do SSIII;
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na entrada do SSIV, ou seja, na saída da unidade dessecante; e
- ✓ ponto 5 representa o estado termodinâmico 5, na saída do SSIV.

Figura 4.19: Condições psicrométricas do ar no SSconvexo (03, 04 e 06/05/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar ambiente passa do estado 1 para o estado 2 ao passar no SSIII. O ar ambiente é aquecido por meio da energia transferida pelo capacitor térmico e, com esse aumento da temperatura do ar (de 26,57°C para 52,45°C), ocorre uma redução da umidade relativa (de 78,94% para 32,01%).

O ar aquecido e com uma umidade relativa menor, ao entrar em contato com as amostras de abacaxi, provoca a transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e a transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem das amostras.

3 → 4 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 3 para o estado 4 ao passar na unidade dessecante do SSIV. Neste processo, decorrente do processo de adsorção, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 26,57°C para 33,32°C) e redução da umidade relativa do ar (de 78,94% para 44,60%).

4 → 5 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 4 para o estado 5, ao passar pela unidade dessecante. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 33,32°C para 60,39°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, conseqüentemente, uma redução da umidade relativa do ar (de 44,60% para 18,30%). Sob essas condições, ocorre, também, a transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e a transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

Nos dias 08 e 10 de maio de 2021, foi realizado o teste experimental para a secagem de abacaxi no SSI e no SSII, como ilustrado na Figura 4.20.

Figura 4.20: Experimento SSI x SSII (08 e 10/05/2021).



A Figura 4.21 apresenta os níveis de irradiação solar durante a realização do experimento. No dia 08 de maio, o céu estava repleto de nuvens do tipo cumulus; por isso, os valores de irradiação oscilaram entre 9 h e 13 h. Após esse horário, as nuvens evoluíram para nuvens tipo stratus, o que contribuiu para a queda na irradiação solar.

Figura 4.21: Irradiação global em Campina Grande (08 e 10/05/2021).



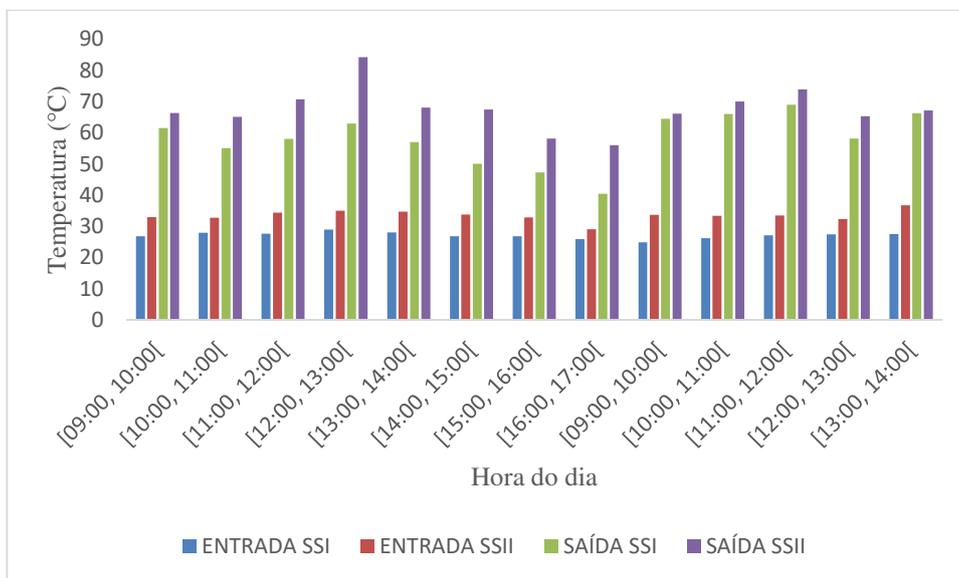
Fonte: LEIAM /UFCG.

Com previsão de chuva para o dia 09 de maio, optou-se por continuar o experimento no dia 10 de maio. Nesse dia, observa-se uma pequena oscilação nos valores de irradiação solar entre as 9 h e as 13 h, devido à presença de nuvens do tipo cirrus durante a manhã.

A média da irradiação solar durante a realização do experimento foi de 505,44 W/m², tendo sido registrada as máximas de 804 W/m² e 589,69 W/m² às 10 h nos dias 08 e 10 de maio, respectivamente.

O SSII registrou os maiores valores de temperatura do ar durante todo o processo de secagem, como pode ser observado na Figura 4.22.

Figura 4.22: Temperatura do ar no SSI x SSII (08 e 10/05/2021).



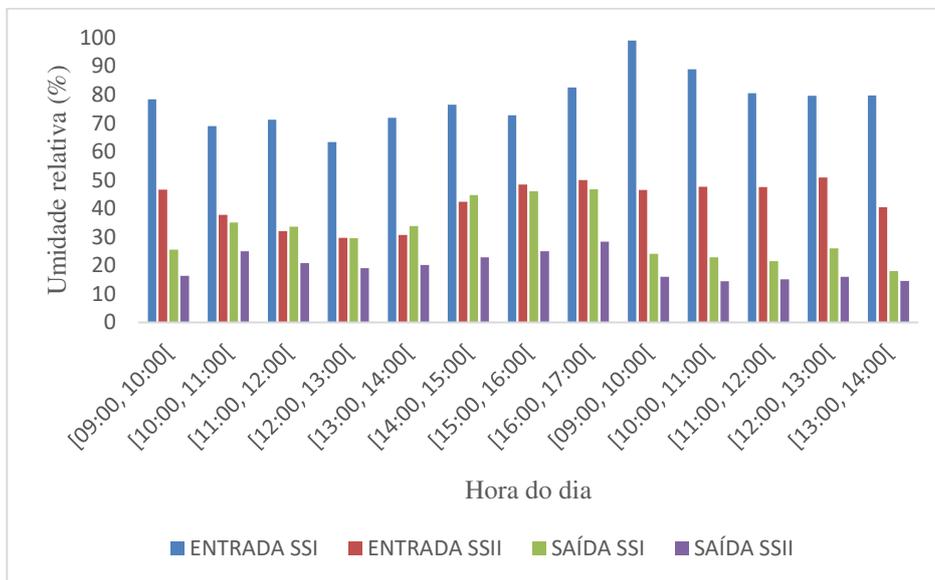
Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela A11 do Apêndice A.

As maiores temperaturas do ar registradas na entrada do SSI (temperatura do ar ambiente) e do SSII foram 28,99°C às 12 h do dia 08 de maio e 36,72°C às 13 h do dia 10 de maio, respectivamente.

Na saída dos sistemas de secagem, os maiores valores registrados para a temperatura do ar foram 68,69°C às 11 h do dia 10 de maio e 84,25°C às 12 h do dia 08 de maio nos sistemas SSI e SSII, respectivamente.

A redução da umidade relativa do ar no SSII foi significativa durante os dois dias de realização dos experimentos, como pode ser observado na Figura 4.23.

Figura 4.23: Umidade relativa do ar no SSI x SSII (08 e 10/05/2021).



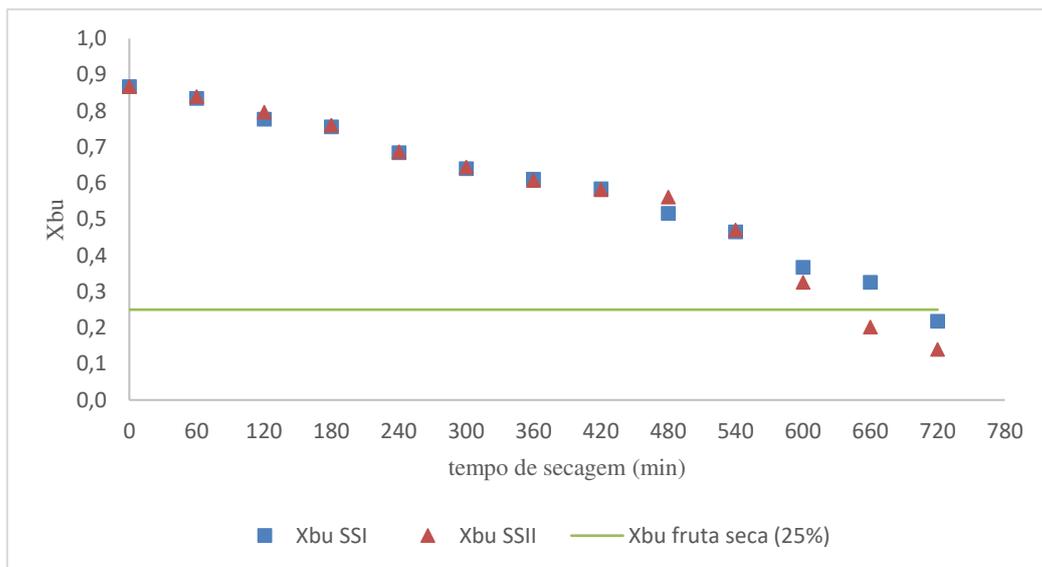
Os valores detalhados da umidade relativa do ar estão registrados na Tabela A12 do Apêndice A.

A média da umidade relativa na entrada e saída nos SSI e SSII foram, respectivamente, 77,95%, 31,40%, 42,40% e 19,55%.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial (em base úmida) de 86,80%, a variação do teor de umidade está detalhada na Tabela A12 do Apêndice A.

Assim como nos demais testes experimentais, a influência do aumento da temperatura do ar e da redução da umidade relativa do ar contribuíram para a redução no tempo necessário para que as amostras atingissem o teor de umidade de 25% em base úmida, como ilustrado na Figura 4.24.

Figura 4.24: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (08 e 10/05/21).

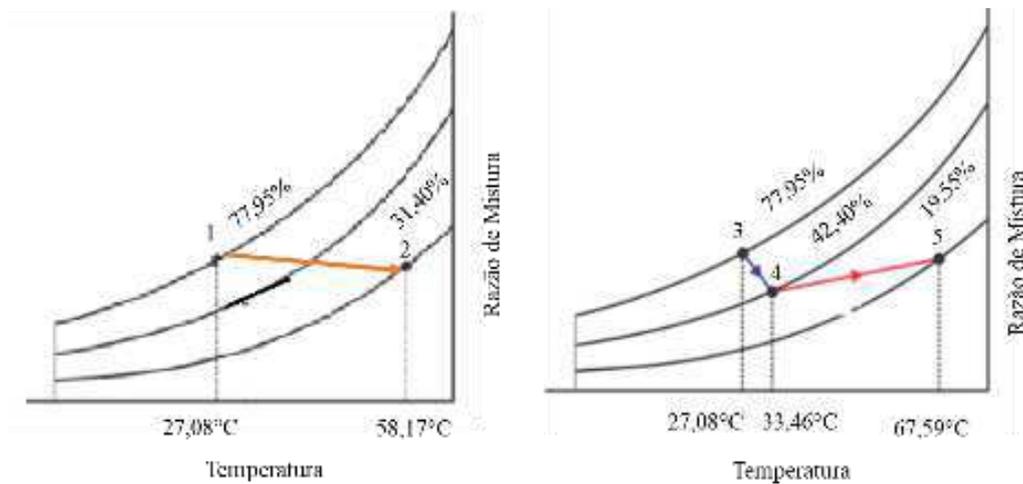


No SSII foram necessários, aproximadamente, 630 min para que as amostras atingissem o teor de umidade desejado, enquanto que no SSI o teor de umidade só foi atingido após 700 min. Os valores detalhados do teor de umidade em base úmida estão disponíveis na Tabela A12 do Apêndice A.

A Figura 4.25 apresenta a média das propriedades do ar durante a realização do experimento, onde:

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada do SI;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na saída do SI;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na entrada da unidade dessecante no SSII, o mesmo da entrada do SSI;
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na entrada do SSII, ou seja, na saída da unidade dessecante; e
- ✓ ponto 5 representa o estado termodinâmico 5, na saída do SSII.

Figura 4.25: Condições psicrométricas do ar no SSplano (08 e 10/05/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar ambiente passa do estado 1 para o estado 2 ao passar no SSI. O ar ambiente é aquecido por meio da energia transferida pelo capacitor térmico e, com esse aumento da temperatura do ar (de 27,08°C para 58,17°C), ocorre uma redução da umidade relativa (de 77,95% para 31,40%).

O ar aquecido e com uma umidade relativa menor, ao entrar em contato com as amostras de abacaxi, provoca uma transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e uma transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

3 → 4 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 3 para o estado 4 ao passar na unidade dessecante do SSII. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 27,08°C para 33,46°C) e redução da umidade relativa do ar (de 77,95% para 42,40%).

4 → 5 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 4 para o estado 5. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 33,46°C para 67,59°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, uma redução da umidade relativa do ar (de 42,40% para 19,55%). Sob essas condições, ocorre transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

Assim como no experimento com SSconvexo, a presença da unidade dessecante (processo 3→4) no SSplano é um fator relevante para que o ar possua condições mais favoráveis para a realização da secagem.

As réplicas dos experimentos realizados durante o outono/inverno foram realizadas nos dias 25 e 27/08 no SSIII e SSIV; nos dias 30 e 31/08, no SSI e SSII. Os dados referentes a variação de temperatura, umidade relativa do ar e variação do teor de umidade estão registradas nas tabelas A13 a A16 do Apêndice A.

4.2 TESTES EXPERIMENTAIS REALIZADOS NA PRIMAVERA/VERÃO

Durante a primavera/verão, foram realizados testes experimentais em Petrolina - PE e Campina Grande - PB. Nessa época do ano, o sol nasce em torno das 5 h 30 min, em Petrolina, em geral, no início da manhã o céu apresenta poucas nuvens, por esta razão optou-se por realizar os experimentos no período de 7 h às 16 h ou até que as amostras atingissem o teor de umidade em base úmida desejado. Por sua vez em Campina Grande, no período de realização dos testes, no início da manhã o céu estava nublado, por esta razão optou-se por iniciar os experimentos às 8 h.

4.2.1 Testes experimentais realizados em Petrolina

No dia 28 de setembro de 2021, foi realizado um teste experimental para a secagem de abacaxi com os sistemas de secagem SSI e SSIII, como ilustrado na Figura 4.26.

Figura 4.26: Experimento SSI xSSIII (28/09/21)



A irradiação solar registrada durante a realização do experimento está ilustrada na Figura 4.27.

Figura 4.27: Irradiação global diária em Petrolina (28/09/2021).



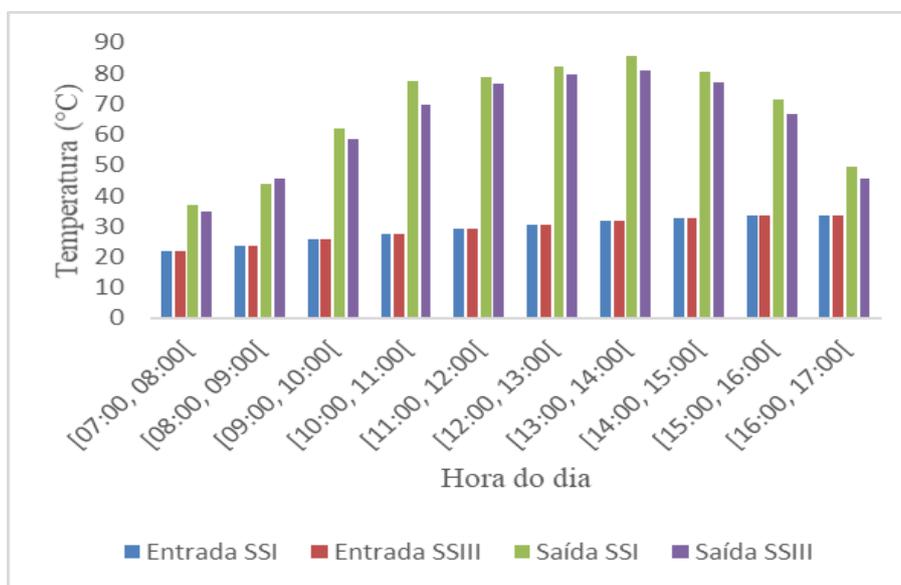
Fonte: LABMET/UNIVASF.

A ausência de nuvens no dia 28 de setembro fez com que a variação de irradiação solar apresentasse um comportamento quase simétrico ao longo do dia. A irradiação

média durante a realização do experimento foi de 676,27 W/m². Os maiores valores de irradiação solar, foram registrados entre as 10 h e 14 h. Sendo a máxima registrada de 983,0 W/m² às 12 h.

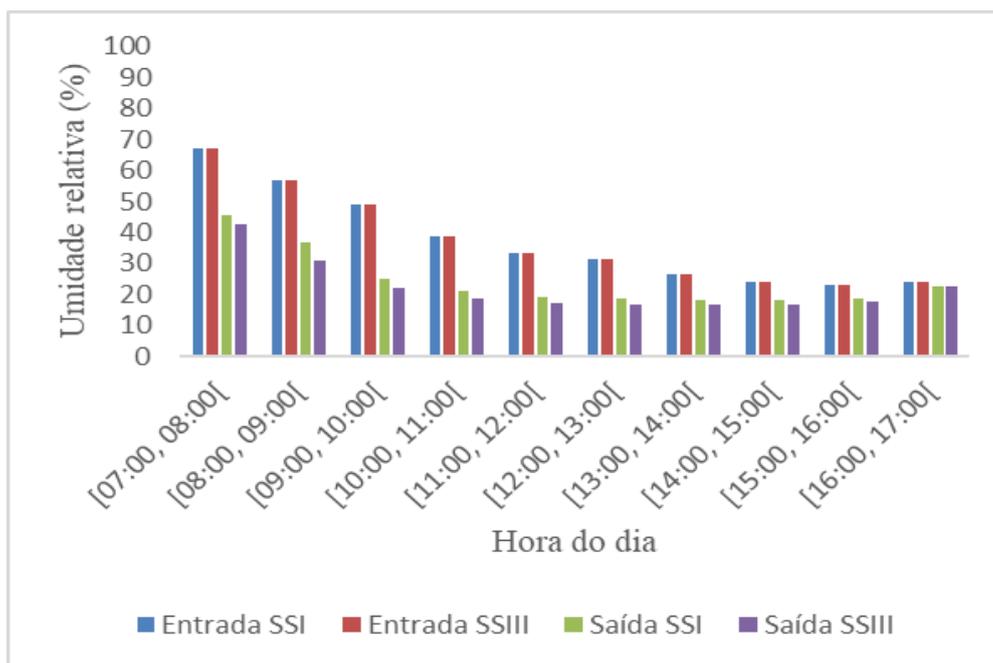
A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4.28. Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela B1 do Apêndice B.

Figura 4.28: Temperatura do ar no SSI x SSIII (28/09/2021).



A média de temperatura do ar ambiente, na entrada dos sistemas de secagem, foi de 29,00°C, tendo sido registrada a máxima de 33,38°C às 15 h. Já na saída dos sistemas, as temperaturas do ar permaneceram próximas e houve um diferença máxima de 8,09°C às 10 h.

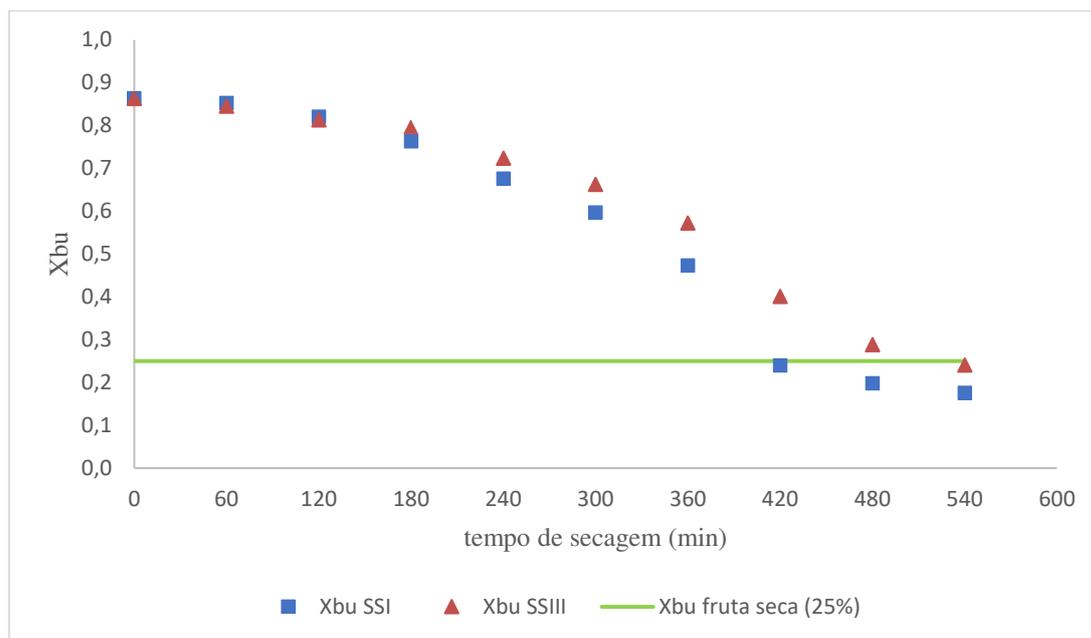
Os valores registrados da umidade relativa do ar durante a realização do experimento estão detalhados na Tabela B1 do Apêndice B e ilustrados na Figura 4.29.

Figura 4.29: Umidade relativa do ar no SSI x SSIII (28/09/2021).

A diferença entre a geometria da cobertura não foi significativa na variação da umidade relativa do ar na saída dos sistemas de secagem. Os menores valores para a umidade relativa do ar na entrada e saída dos sistemas de secagem foram registrados no período de 13 h as 15 h. Na saída dos sistemas de secagem, o menor valor registrado da umidade relativa do ar, no SSI e no SSIII, foi de 18,23% às 14 h e 16,85% às 13 h.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial de 86,3%. A variação do teor de umidade do abacaxi em base úmida nos dois sistemas de secagem apresentou um comportamento decrescente após 120 min do início do experimento, conforme ilustrado na Figura 4.30. Os valores detalhados estão registrados na Tabela B2 do Apêndice B.

Figura 4.30: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (28/09/2021).

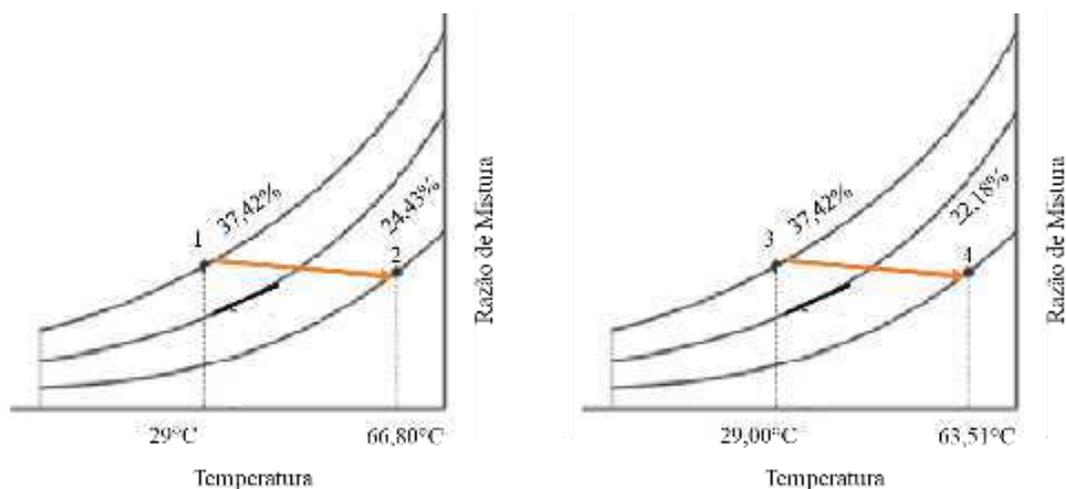


No SSI, o teor de umidade recomendado pela Anvisa foi atingido após 420 min do início da secagem. Já no SSIII, foram necessários, aproximadamente, 530 min.

A Figura 4.31 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e da umidade relativa do ar durante a realização dos experimentos nos sistema de secagem sem unidade dessecante, sendo que:

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada do SI, o mesmo do ar ambiente;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na saída do SI;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na entrada do SSII, o mesmo da entrada do SSI; e
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na saída do SSIII.

Figura 4.31: Condições psicrométricas do ar no SSI x SSIII (28/09/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar ambiente passa do estado 1 para o estado 2 ao entrar no SSI. O ar ambiente é aquecido por meio da energia transferida pelo capacitor térmico devido ao efeito estufa e, com esse aumento da temperatura do ar (de 29,00°C para 66,80°C), ocorre uma redução da umidade relativa (de 37,42% para 24,43%).

3 → 4 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 3 para o estado 4 ao entrar no SSIII. Neste processo, ocorre, o aumento da temperatura do ar (de 29,00°C para 63,51°C) e redução da umidade relativa do ar (de 37,42% para 22,18%).

O ar aquecido e com uma umidade relativa menor, ao entrar em contato com as amostras de abacaxi, provoca uma transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e uma transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

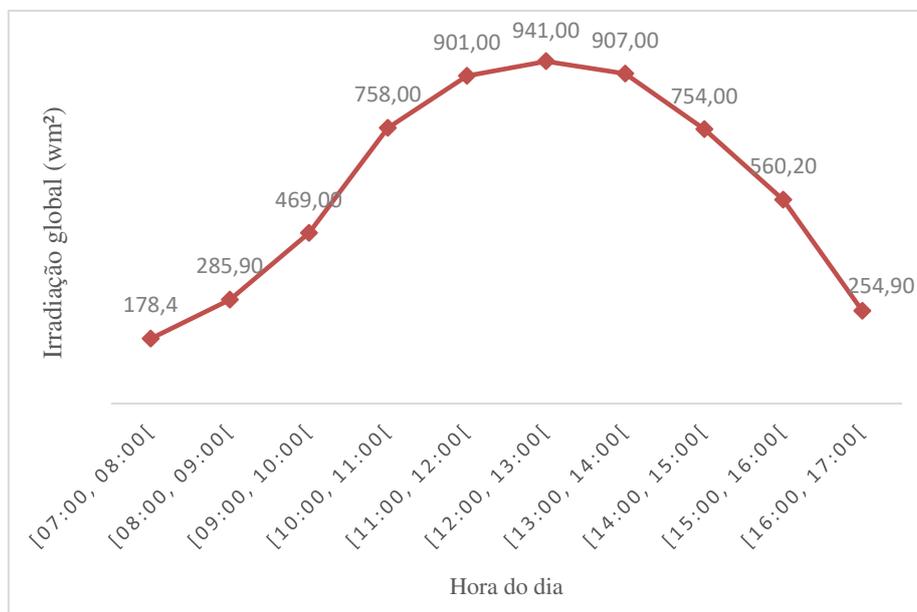
No dia 30 de setembro de 2021, foi realizado teste experimental para a secagem de abacaxi nos sistemas de secagem SSII e SSIV, como ilustrado na Figura 4.32.

Figura 4.32: Experimento SSII x SSIV (30/09/21)



A irradiação solar média durante a realização dos experimentos foi de 600,94 W/m². No período entre as 10 h e 14 h, foram registados os maiores valores de irradiação solar, como ilustrado na Figura 4.33.

Figura 4.33: Irradiação global diária em Petrolina (30/09/2021).

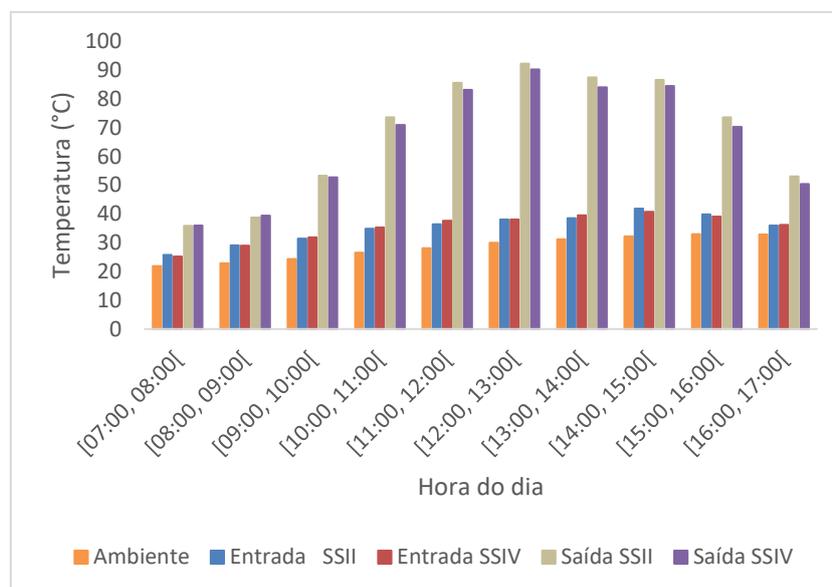


Fonte: LABMET/UNIVASF

O comportamento da irradiação solar no dia 30 de setembro foi similar aos observados no dia 28 de setembro, sendo as máximas, também, registradas no período das 10 h as 14 h.

A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4.34. Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela B3 do Apêndice B.

Figura 4.34: Temperatura do ar no SSII x SSIV (30/09/2021).

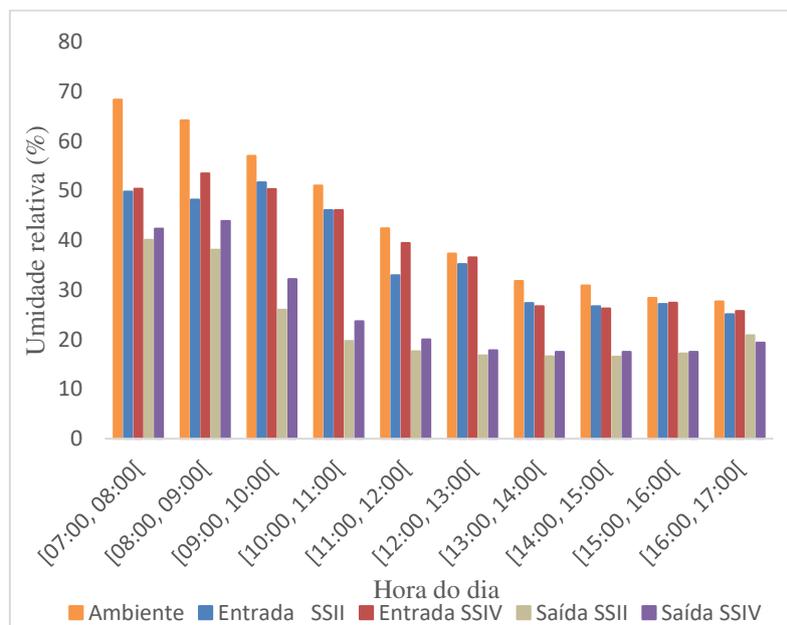


Como as unidades dessecantes nos dois sistemas de secagem eram idênticas e possuíam a mesma quantidade de sílica gel igualmente distribuídas, a temperatura do ar na entrada dos dois sistemas de secagem foi praticamente igual, salvo a margem de precisão dos sensores DHT22. A temperatura média do ar ambiente foi de 28,26°C, ao passar pela unidade dessecante (na entrada do SSII, e na entrada do SSIV) ficou em torno de 35°C, tendo sido registrado um incremento médio de 6°C na temperatura do ar. Um comportamento similar foi observado na saída dos sistemas de secagem, a diferença entre a temperatura média na saída do SSII e do SSIV foi menor que 2°C e as máximas foram registradas no período das 10 h as 15 h.

A Figura 4.35 mostra que ocorreu uma variação significativa da umidade relativa do ar na entrada dos sistemas de secagem em comparação a umidade relativa do ar ambiente durante a realização do experimento. Como foi observado a saturação da sílica

gel durante a realização dos experimentos no outono/inverno, às 13 h foi realizado a substituição da sílica gel. Os valores detalhados da umidade relativa do ar estão registrados na Tabela B3 do Apêndice B.

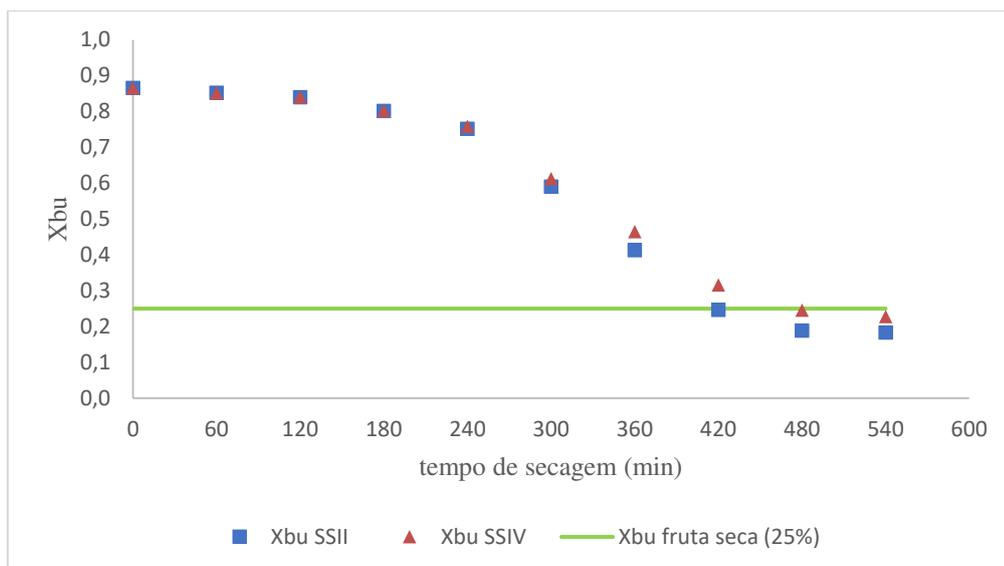
Figura 4.35: Umidade relativa do ar no SSII x SSIV (30/09/2021).



A média da umidade relativa do ar ambiente foi de 41,20%, na entrada do SSII e SSIV (após a unidade dessecante) a média da umidade relativa do ar foi de 35,62% e 36,90%, respectivamente. Na saída do SSII e SSIV as médias para a umidade relativa foram 21,04% e 23,29%, respectivamente. Os menores valores para a umidade relativa do ar foram registrados no período das 11 h as 16 h.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial de 86,1%. Não houve uma variação significativa entre o teor de umidade nos dois sistemas de secagem, como pode ser observado na Figura 4.36 e está detalhado na Tabela B4 no Apêndice B. Apesar dos valores de temperatura e umidade relativa do ar apresentarem uma diferença menor do que 5°C, salvo a precisão dos sensores, houve uma redução de 60 min no tempo de secagem das amostras de abacaxi no SSII em comparação às amostras no SSIV.

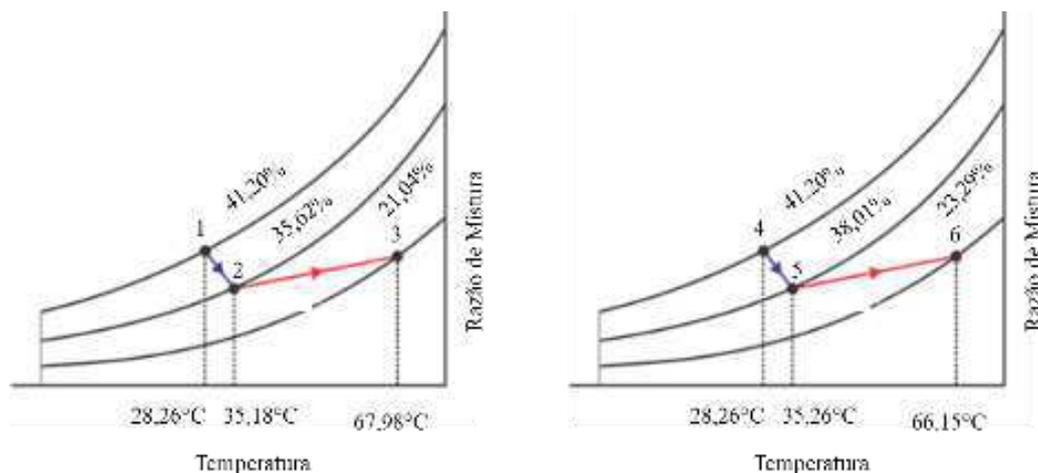
Figura 4.36: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (30/09/2021).



A Figura 4.37 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos sistemas de secagem com unidade dessecante.

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada da unidade dessecante do SII, o mesmo do ar ambiente;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na entrada do SSII, ou seja, na saída da unidade dessecante do SSII;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na saída do SSII;
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na entrada da unidade dessecante do SSIV;
- ✓ ponto 5 representa o estado termodinâmico 5, na entrada do SSIV, ou seja a saída da unidade dessecante do SSIV;
- ✓ ponto 6 representa o estado termodinâmico 6, na saída do SSIV.

Figura 4.37: Condições psicrométricas do ar no SSII e SSIII (30/09/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 1 para o estado 2 ao passar na unidade dessecante do SSII. Neste processo, decorrente do processo de adsorção, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 28,26°C para 35,18°C) e redução da umidade relativa do ar (de 41,20% para 35,62%).

2 → 3 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 2 para o estado 3. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 35,18°C para 67,98°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, conseqüentemente, uma redução da umidade relativa do ar (de 35,62% para 21,04%). Sob essas condições, ocorre, também, transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi no SSII.

4 → 5 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 4 para o estado 5 ao passar pela unidade dessecante do SSIV. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 28,26°C para 35,26°C) e uma redução da umidade relativa do ar (de 41,20% para 38,01%), devido ao processo de adsorção.

5 → 6 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 5 para o estado 6. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 35,26°C para 66,15°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, conseqüentemente, uma redução da umidade relativa do ar (de 38,01% para 23,29%). Sob essas condições, ocorre, também, transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de

massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi no SSIV.

Em ambos sistemas de secagem, notou-se uma variação similar no incremento da temperatura do ar e na redução da umidade relativa do ar na entrada.

No dia 01/10 foi feita a regeneração da sílica gel utilizando apenas energia solar térmica, até então a regeneração era feita em estufa. Foram dispostos 5 kg de sílica gel no secador solar de exposição direta sem unidade dessecante no período das 10 h as 15 h, como ilustrado na Figura 4.38. As 15 h, a sílica gel apresentou coloração laranja sinalizando que a regeneração havia ocorrido.

Figura 4.38: Regeneração da sílica gel por meio da energia solar



Sílica gel às 9 h.

Sílica gel às 15 h.

A regeneração da sílica gel no secador solar foi relevante neste trabalho pois o processo de secagem solar com unidade dessecante pôde ser feita utilizando apenas energia solar como fonte de energia principal.

No dia 05 de outubro de 2021, foi realizada réplica, para a avaliação da unidade dessecante e geometria da cobertura dos sistemas de secagem, no SSII e SSIV. No dia 06 de outubro de 2021 foi realizada réplica para a avaliação, exclusiva, da geometria da cobertura dos sistemas de secagem, no SSI e SSIII. Os valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e variação do teor de umidade em base úmida obtidos durante a realização dos experimentos estão registrados nas Tabelas B5 a B18 do Apêndice B.

4.2.2 Testes experimentais realizados em Campina Grande

Para a realização dos experimentos tentou-se iniciar os testes às 7 h, mas no único da manhã, em geral, o céu amanhecia repleto de nuvens tipo stratus, por esta razão optou-se por iniciar os testes às 8 h. Nos dias 21 e 22 de outubro de 2021, foi realizado um teste experimental para a secagem de abacaxi com os sistemas de secagem SSII e SSIV, como ilustrado na Figura 4.39.

Figura 4.39: Experimento SSII x SSIV (21/10/21).



Apesar da presença de nuvens foram registrados valores significativos de irradiação solar a durante a realização do experimento, como está ilustrada na Figura 4.40.

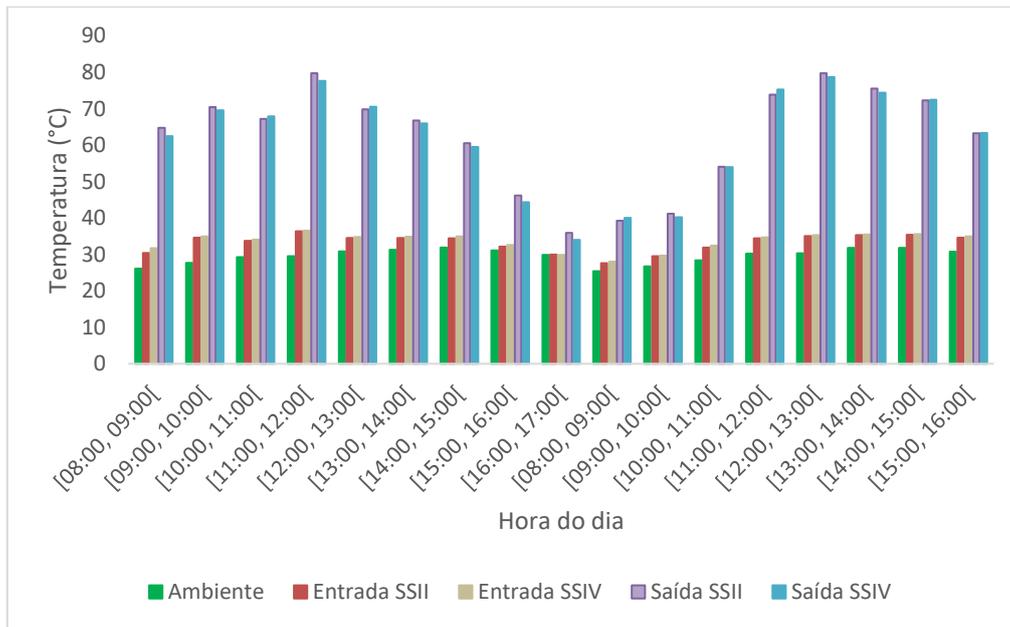
Figura 4.40: Irradiação global diária em Campina Grande (21 e 22 /10/2021).

Fonte: LEIAM/UFMG.

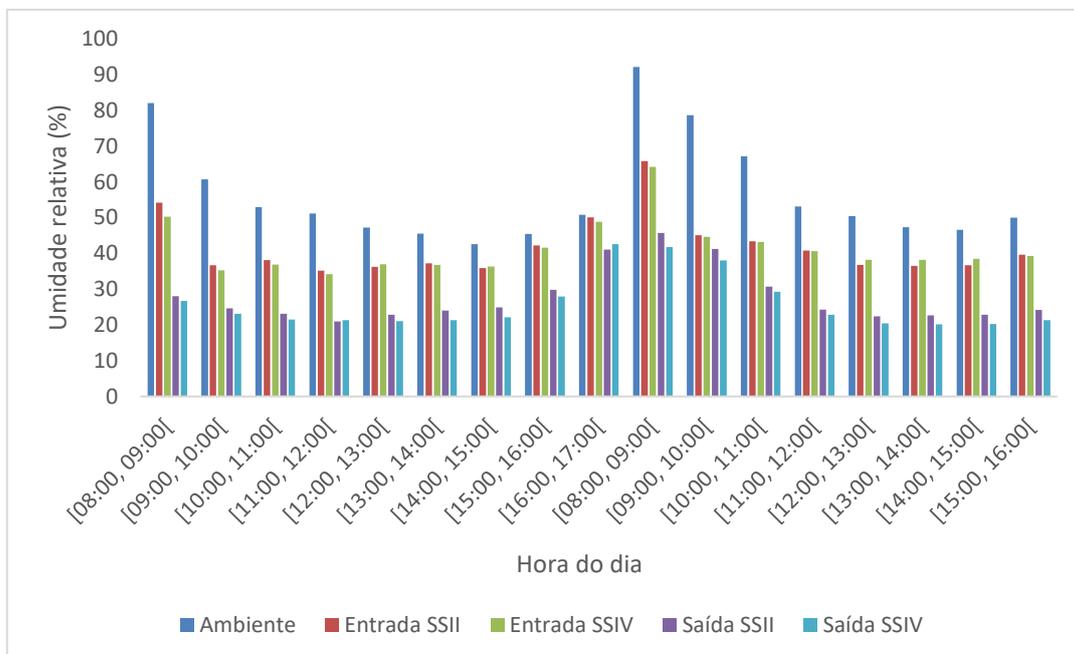
A irradiação média durante a realização do experimento foi de 554,69 W/m². Os maiores valores de irradiação solar, foram registrados entre as 8 h e 10 h no dia 21/10 e entre as 10 h e 14 h do dia 22/10. Sendo a máxima registrada de 889,88 W/m² às 10 h do dia 22/10.

A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4.41. Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela B9 do Apêndice B.

A média da temperatura do ar ambiente foi de 29,59°C, tendo sido registrada a máxima de 31,79°C às 14 h do dia 22/10. Após a passagem pela unidade dessecante, houve um incremento médio de 3°C na temperatura do ar nos dois sistemas de secagem. A temperatura do ar na saída do SSII e SSIV estiveram próximas durante toda a realização do experimento, a diferença pode estar associada a precisão dos sensores DHT22, a temperatura média do ar na saída dos sistemas foi de 62°C.

Figura 4.41: Temperatura do ar no SSI x SSIII (28/09/2021).

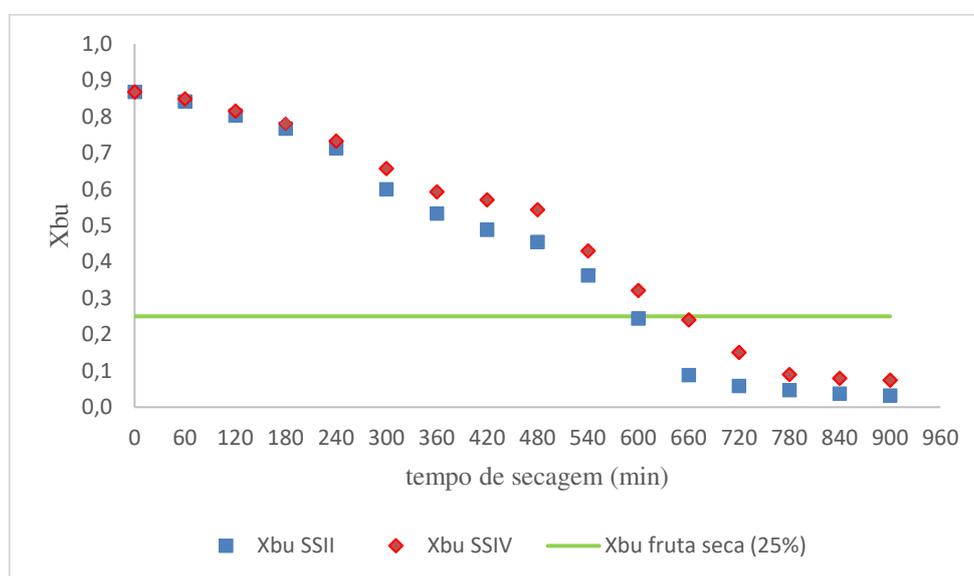
Os valores registrados da umidade relativa do ar durante a realização do experimento estão detalhados na Tabela B9 do Apêndice B e ilustrados na Figura 4.42.

Figura 4.42: Umidade relativa do ar no SSII x SSIV (21 e 22/10/2021).

A relevância da utilização da sílica gel é observada nos períodos em que foi registrado maiores valores para a umidade relativa do ar ambiente, a saber, entre as 8 h e 11 h. Nesse período, nota-se um queda significativa na umidade relativa do ar, após a passagem do ar pela unidade dessecante.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial de 86,8%. A variação do teor de umidade do abacaxi em base úmida nos dois sistemas de secagem está detalhada na Tabela B10 do Apêndice B. O decaimento do teor de umidade está ilustrado na Figura 4.43.

Figura 4.43: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (21 e 22/10/21).



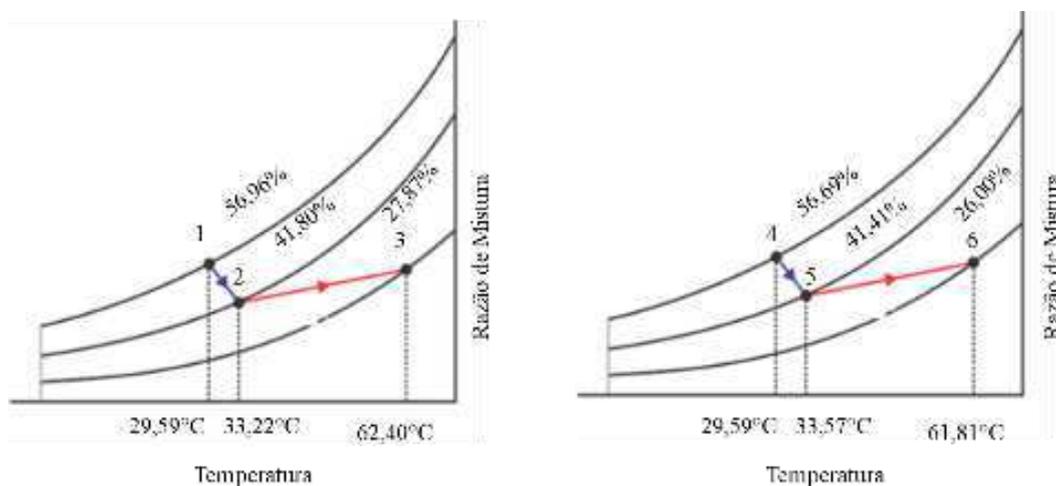
Apesar da temperatura e da umidade relativa do ar apresentarem valores próximos nos dois sistemas de secagem, no SSII, o teor de umidade recomendado pela Anvisa foi atingido após 600 min do início da secagem; já no SSIV, foram necessários 660 min.

A Figura 4.44 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos sistemas de secagem com unidade dessecante.

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada da unidade dessecante do SII, o mesmo do ar ambiente;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na entrada do SSII, ou seja, na saída da unidade dessecante do SSII;

- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na saída do SSII;
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na entrada da unidade dessecante do SSIV;
- ✓ ponto 5 representa o estado termodinâmico 5, na entrada do SSIV, ou seja a saída da unidade dessecante do SSIV;
- ✓ ponto 6 representa o estado termodinâmico 6, na saída do SSIV.

Figura 4.44: Condições psicrométricas do ar no SSII x SSIV (21 e 22/11/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 1 para o estado 2 ao passar na unidade dessecante do SSII. Neste processo, decorrente do processo de adsorção, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 29,59°C para 33,22°C) e redução da umidade relativa do ar (de 56,69% para 41,80%).

2 → 3 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 2 para o estado 3. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 33,22°C para 62,40°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, conseqüentemente, uma redução da umidade relativa do ar (de 41,80% para 27,87%). Sob essas condições, ocorre, também, transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi no SSII.

4 → 5 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 4 para o estado 5 ao passar pela unidade dessecante do SSIV. Neste processo,

ocorre o aumento da temperatura do ar (de 29,59°C para 33,57°C) e uma redução da umidade relativa do ar (de 56,69% para 41,41%), devido ao processo de adsorção.

5 → 6 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 5 para o estado 6. Neste processo, ocorre o aumento da temperatura do ar (de 33,57°C para 61,81°C) devido ao efeito estufa no interior do secador solar e, conseqüentemente, uma redução da umidade relativa do ar (de 41,41% para 26%). Sob essas condições, ocorre, também, transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi no SSIV.

Nos dias 25 e 26 de outubro de 2021, foi realizado teste experimental para a secagem de abacaxi nos sistemas de secagem SSI e SSII, como ilustrado na Figura 4.45.

Figura 4.45: Experimento SSI x SSIII (25/10/ 2021).



Haviam poucas nuvens no céu, o que contribui para que a irradiação solar média durante a realização dos experimentos foi de 616,30 W/m². No período entre as 9 h e 13 h no dia 25/10 e 8 h as 10h, foram registados os maiores valores de irradiação solar, como ilustrado na Figura 4.46.

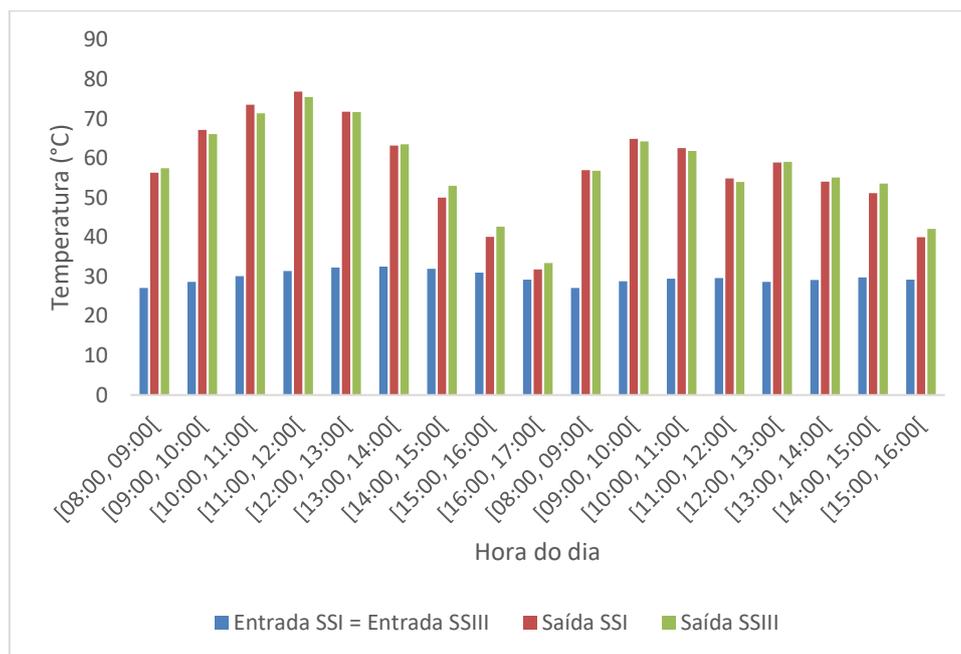
Figura 4.46: Irradiação global diária em Campina Grande (25 e 26/10/2021).



Fonte: LEIAM/UFCG.

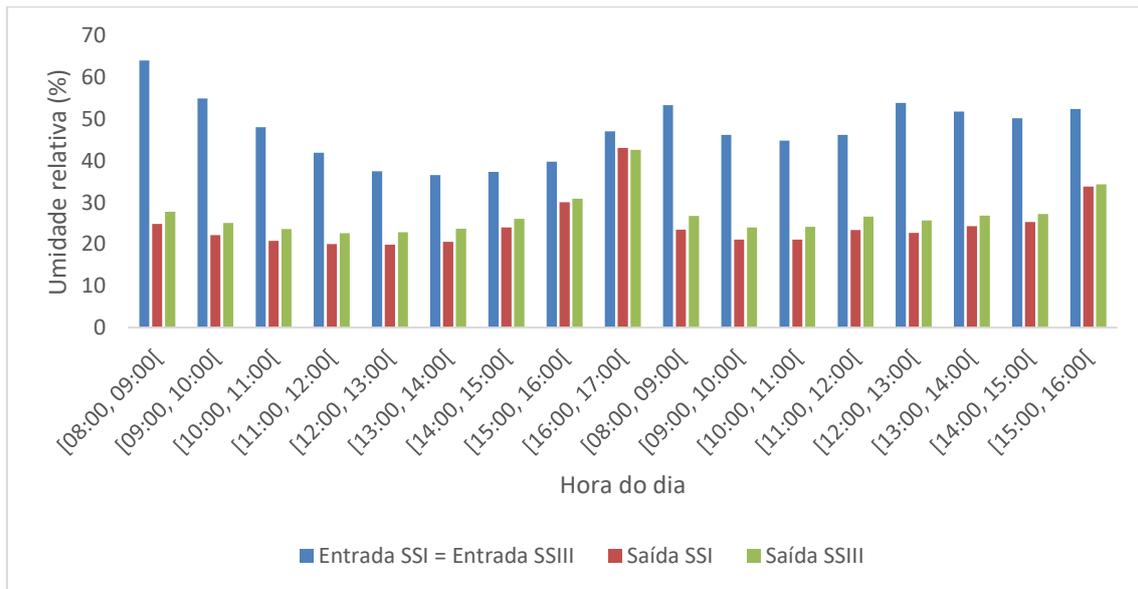
Devido a presença de nuvens no dia 26/10 houve uma oscilação nos valores de irradiação, não apresentando um comportamento quase simétrico como no dia 25/10.

A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4.47. Os valores detalhados da temperatura do ar estão registrados na Tabela B7 do Apêndice B.

Figura 4.47: Temperatura do ar no SSI x SSIII (25 e 26/10/2021).

As maiores temperaturas do ar na entrada dos sistemas de secagem foram registradas no período de 11 h as 14 h no dia 25/10, a temperatura média do ar durante a realização dos experimentos foi de 29,80°C. A temperatura do ar na saída dos dois sistemas permaneceram praticamente iguais, salvo a margem de erro dos sensores, tendo sido registrada a máxima de 76,91°C e 75,55°C às 11 h no dia 25/10, no SSI e SSIII, respectivamente. A temperatura média do ar na saída no SSI e SSIII foi de 57,34°C e 57,76°C, respectivamente.

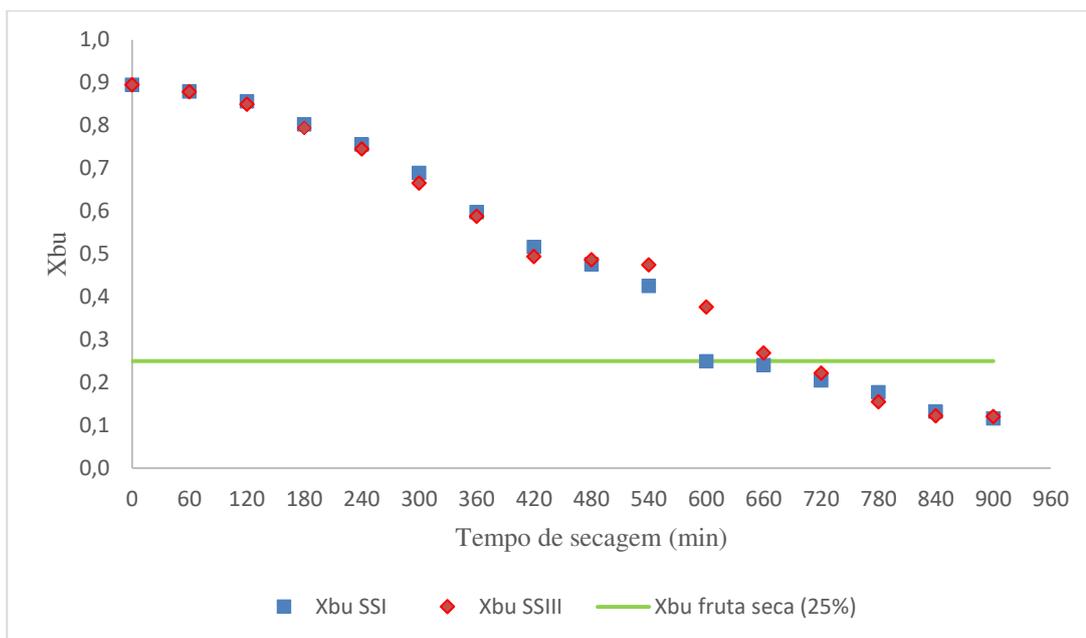
A Figura 4.48 mostra uma redução significativa da umidade relativa do ar na saída dos sistemas de secagem em comparação com a umidade relativa do ar ambiente. Os valores detalhados da umidade relativa do ar estão registrados na Tabela B7 do Apêndice B.

Figura 4.48: Umidade relativa do ar no SSII x SSIV (30/09/2021).

A média da umidade relativa do ar ambiente foi de 47,76%, os maiores valores de umidade relativa do ar foram registrados no período das 8h as 9h, e 15 h as 16 h nos dois dias de realização do experimento. No SSI e SSIII a umidade relativa apresentou valores próximos durante toda a realização do experimento. Por esta razão, pode-se supor que a geometria da cobertura não influenciou significativamente na redução da umidade relativa do ar.

As amostras de abacaxi utilizadas nestes experimentos possuíam teor de umidade inicial de 89,5%. O decaimento do teor de umidade do abacaxi nos dois sistemas de secagem está ilustrado na Figura 4.49.

Figura 4.49: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem (25 e 26/10/21).

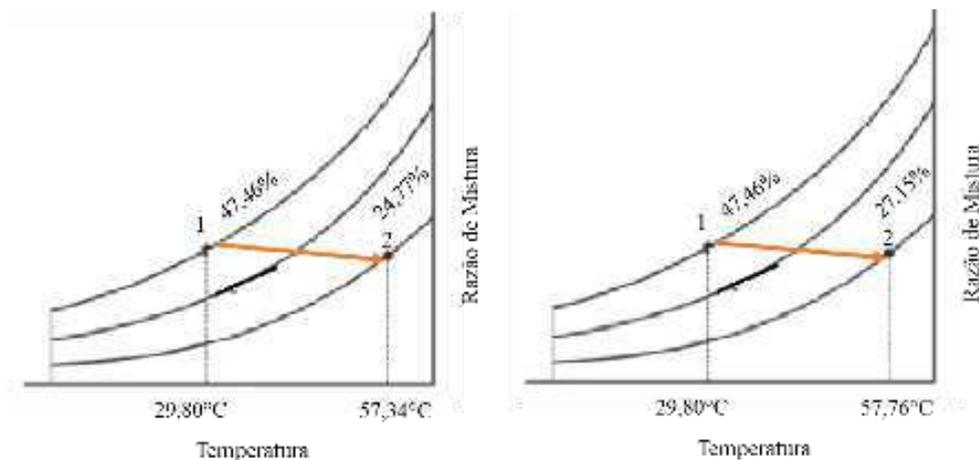


Como pode ser observado na Figura 4.49, o teor de umidade em base úmida de 25% foi atingido no SSI decorridos 600 min do início do experimento, enquanto que no SSIII esse teor de umidade foi atingido após, aproximadamente, 680 min. A Tabela B10 no Apêndice B apresenta os valores detalhados da variação do teor de umidade.

A Figura 4.50 apresenta, na carta psicrométrica, a média da temperatura e da umidade relativa do ar durante a realização dos experimentos nos sistema de secagem sem unidade dessecante, sendo que:

- ✓ ponto 1 representa o estado termodinâmico 1, na entrada do SI, o mesmo do ar ambiente;
- ✓ ponto 2 representa o estado termodinâmico 2, na saída do SI;
- ✓ ponto 3 representa o estado termodinâmico 3, na entrada do SSII, o mesmo da entrada do SSI; e
- ✓ ponto 4 representa o estado termodinâmico 4, na saída do SSIII.

Figura 4.50: Condições psicrométricas do ar no SSI e SSIII (25 e 26/10/2021).



1 → 2 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar ambiente passa do estado 1 para o estado 2 ao entrar no SSI. O ar ambiente é aquecido por meio da energia transferida pelo capacitor térmico devido ao efeito estufa e, com esse aumento da temperatura do ar (de 29,80°C para 57,34°C), ocorre uma redução da umidade relativa (de 47,46% para 24,77%).

3 → 4 representa o processo termodinâmico pelo qual o ar passa do estado 3 para o estado 4 ao entrar no SSIII. Neste processo, ocorre, o aumento da temperatura do ar (de 29,80°C para 57,76°C) e redução da umidade relativa do ar (de 47,46% para 27,15%).

O ar aquecido e com uma umidade relativa menor, ao entrar em contato com as amostras de abacaxi, provoca uma transferência de calor do fluido de trabalho para o abacaxi e uma transferência de massa de vapor de água do abacaxi para o fluido de trabalho, resultando na secagem do abacaxi.

Nos dias 27 e 28 de outubro de 2021, foi realizada réplica, para a avaliação da geometria da cobertura dos sistemas de secagem, no SSI e SSIII. Nos dias 29 e 30 de outubro de 2021 foi realizada réplica para a avaliação da unidade dessecante e da geometria da cobertura dos sistemas de secagem, no SSII e SSIV. Os valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e variação do teor de umidade em base úmida obtidos durante a realização dos experimentos estão registrados nas Tabelas B9 a B12 do Apêndice B.

Aspectos relacionados à relevância do tipo de cobertura, da utilização da unidade dessecante, bem como o rendimento térmico do equipamento, serão apresentados a seguir.

4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL

Neste subcapítulo, serão apresentados os resultados do planejamento experimental fatorial realizados em Petrolina e Campina Grande no outono/inverno e na primavera/verão, a fim de determinar a melhor configuração do sistema de secagem para que o processo de secagem do abacaxi ocorra em um menor período de tempo.

4.3.1 Planejamento experimental fatorial (outono/inverno)

De acordo com as determinações contidas no planejamento experimental 2^2 com réplica, foram realizados quatro experimentos, cada um com uma réplica.

4.3.1.1 Planejamento Experimental fatorial em Petrolina

Os experimentos 1 (no SSI) e 3 (no SSII) foram realizados nos dias 25 e 26 de março de 2021 e as réplicas nos dias 16 e 17 de abril de 2021. Já os experimentos 2 (no SSIII) e 4 (no SSIV) e suas réplicas foram realizados nos dias 13 e 14 de abril de 2021 e 28 e 29 de abril, respectivamente. A Tabela 4.1 apresenta os valores da variável dependente, obtidos experimentalmente.

Tabela 4.1: Matriz do planejamento experimental fatorial (outono/inverno).

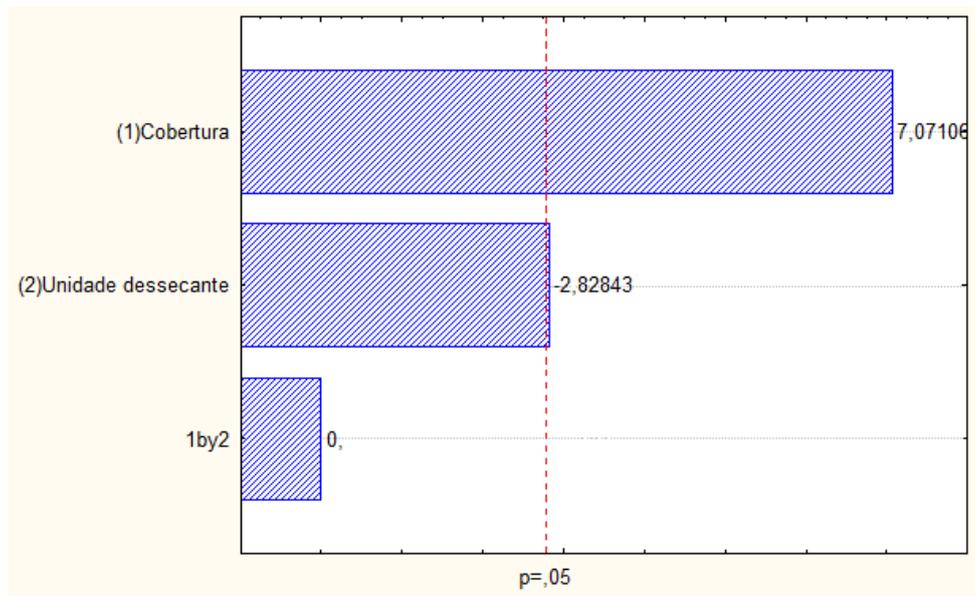
Experimentos	Variáveis		Respostas	
	Cobertura	Unidade Dessecante	t_1 (min)	t_2 (min)
1	-1 [Plana]	-1 [Sem]	600	600
2	+1 [Convexa]	-1 [Sem]	720	780
3	-1 [Plana]	+1 [Com]	540	540
4	+1 [Convexa]	+1 [Com]	660	720

A Tabela 4.2 apresenta os efeitos lineares e de interação entre os parâmetros em relação ao tempo de secagem. Os valores em vermelho indicam que as variáveis, ou a interação entre elas, é significativa para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0.05$).

Tabela 4.2: Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental 2^2 (outono/inverno).

Variáveis	Efeito	Erro padrão	p
Média	645,5000	10,606	0,000000
Cobertura (C)	150,000	21,213	0,002111
Unidade Dessecante (UD)	-60,000	21,213	0,047421
Interação (CXD)	0,000	21,213	1,000000

Todas as variáveis independentes foram significativas para a redução no tempo de secagem. Tal afirmação é reforçada pelo gráfico de Pareto, apresentado na Figura 4.51.

Figura 4.51: Avaliação das variáveis significativas (outono/inverno).

Por meio do gráfico de Pareto, é perceptível que, no outono e na região do semiárido nordestino, ambas as variáveis independentes são significativas. Sendo que o incremento para a variável cobertura contribui para o aumento do tempo de secagem e o oposto ocorre para a variável unidade dessecante.

O modelo matemático para representar o tempo de secagem de abacaxi em um sistema de secagem de exposição direta, durante o outono e em uma região do semiárido nordestino, é dado pela Equação 23 :

$$Y = 637,5 + 67,5X_1 - 22,5X_2 + 7,5X_1X_2 + 21,21 \quad (\text{Equação 23})$$

onde,

X_1 - variável codificada para a cobertura;

X_2 - variável codificada para a unidade dessecante;

X_1X_2 - interação entre as variáveis codificadas.

Como pode ser observado na Tabela 4.3, o coeficiente de correlação é superior a 95%, em relação à regressão. O teste F mostra que o modelo matemático obtido é significativo e preditivo. Ademais, para a falta de ajuste, o teste F garante que o modelo é bem ajustado.

Tabela 4.3: ANOVA - Petrolina (outono/inverno).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado da Média (QM)	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	208800,00	3	69600,00	77,33	6,59
Resíduos	3600,00	4	900,00	1	---
Falta de Ajuste	3150,00	0	---	----	---
Erro Puro	675,00	4	168,75	0,1875	---
Total	212400,00	---	---	---	---
R ² (Coeficiente de Correlação ou % de Variação Explicada)					98,30%

As Figuras 4.52 e 4.53 exibem a superfície de resposta e as curvas em nível, respectivamente, para o tempo de secagem de abacaxi em relação às variáveis cobertura e unidade dessecante.

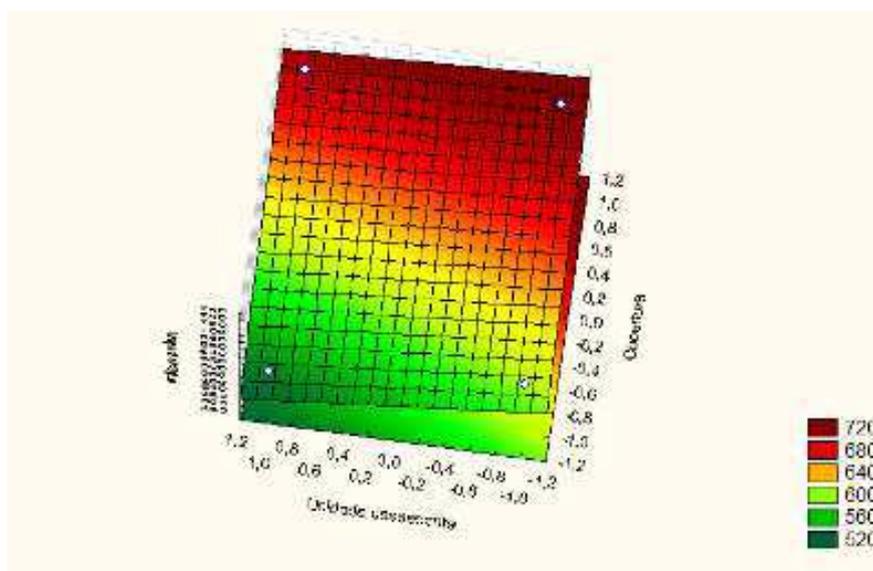
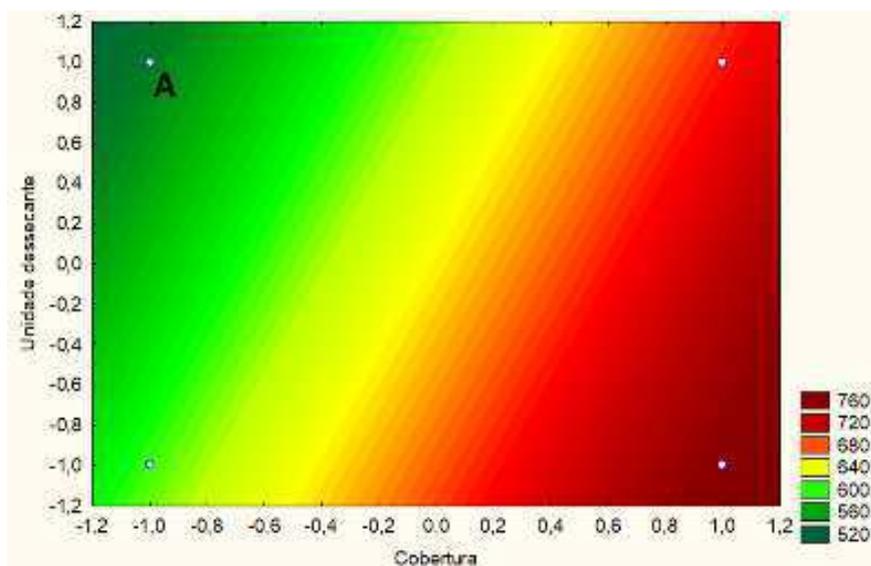
Figura 4.52: Superfície de resposta – Petrolina (outono/inverno).

Figura 4.53: Superfície de contorno – Petrolina (outono/inverno)



Diante do exposto, pode-se inferir que, no outono, o sistema de secagem com cobertura plana [-1] e com unidade dessecante [+1], identificado pelo ponto A na Figura 4.51, é a melhor configuração para a secagem solar de abacaxi quando o objetivo for a redução no tempo de secagem.

4.3.1.2 Planejamento experimental fatorial em Campina Grande

Os experimentos 6 (no SSIII) e 8 (no SSIV) foram realizados nos dias 03, 04 e 06 de maio de 2021, e as réplicas nos dias 25 e 27 de agosto de 2021. Já os experimentos 5 (no SSI) e 7 (no SSIII) e suas réplicas foram realizados nos dias 08 e 10 de maio de 2021, e 30 e 31 de agosto, respectivamente. A Tabela 4.4 apresenta os valores da variável dependente, obtidos experimentalmente.

Tabela 4.4: Matriz do planejamento experimental fatorial em Campina Grande (outono/inverno).

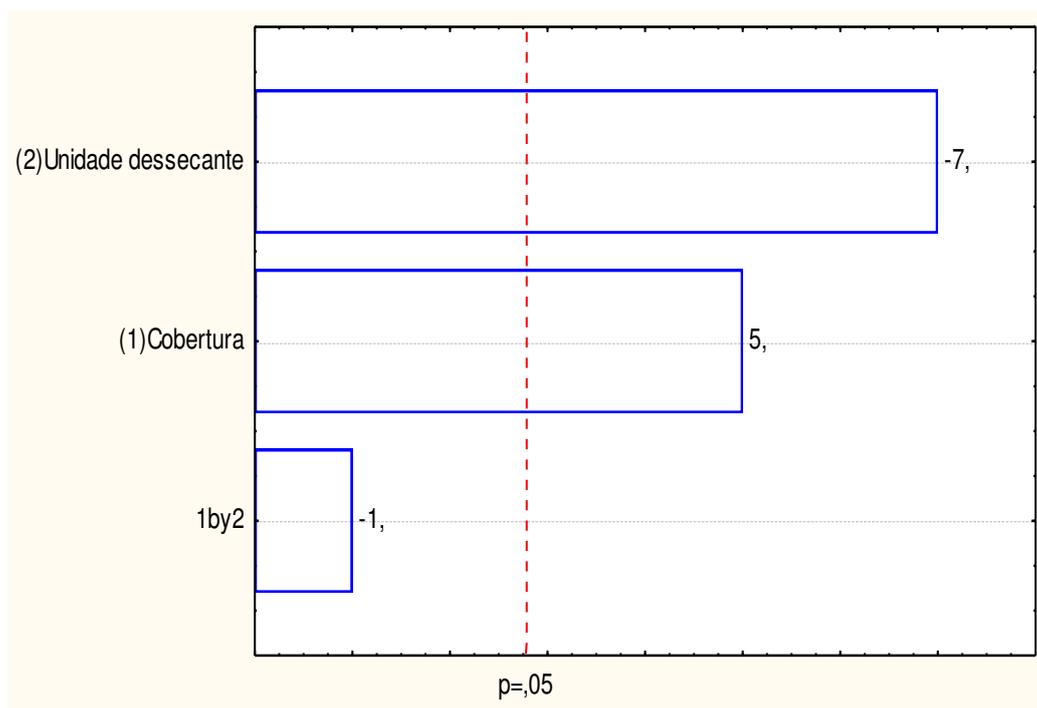
Experimento	Variáveis		Respostas	
	Cobertura	Unidade Dessecante	t_1 (min)	t_2 (min)
5	-1 [Plana]	-1 [Sem]	720	660
6	+1 [Convexa]	-1 [Sem]	720	780
7	-1 [Plana]	+1 [Com]	660	600
8	+1 [Convexa]	+1 [Com]	660	660

A Tabela 4.5 apresenta os efeitos lineares e de interação entre os parâmetros em relação ao tempo de secagem. Os valores em vermelho indicam que as variáveis, ou a interação entre elas, é significativa para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.5: Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental 2^2 (outono/inverno).

Variáveis	Efeito	Erro padrão	p
Média	682,500	7,50000	0,000000
Cobertura (C)	75,000	15,00000	0,007490
Unidade Dessecante (UD)	-105,000	15,00000	0,002192
Interação (CXD)	-15,000	15,00000	0,373901

As variáveis cobertura e unidade dessecante foram significativas para a redução no tempo de secagem, como pode ser observado na Figura 4.54.

Figura 4.54: Avaliação das variáveis significativas (outono/inverno).

O gráfico de Pareto mostra que as variáveis independentes são significativas na redução do tempo de secagem durante o outono/inverno na região do agreste paraibano. De modo que o incremento no nível da variável unidade dessecante e a redução no nível da variável cobertura contribuem para a redução do tempo de secagem.

O modelo matemático para representar o tempo de secagem de abacaxi em um sistema de secagem de exposição direta, durante o outono/inverno na cidade de Campina Grande, é dado pela Equação 24

$$Y = 682,5 + 37,5X_1 - 52,5X_2 - 7,5X_1X_2 + 25,9 \quad (\text{Equação 24})$$

onde,

X_1 - variável codificada para a cobertura;

X_2 - variável codificada para a unidade dessecante;

X_1X_2 - interação entre as variáveis codificadas.

A Tabela 4.6, apresenta um coeficiente de correlação é superior a 90%; em relação à regressão; e por meio do teste F mostra que o modelo matemático obtido é significativo e preditivo.

Tabela 4.6: ANOVA – Campina Grande (outono/inverno).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado da Média (QM)	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	61650,00	3	20550,00	15,22222	6,59
Resíduos	5400,00	4	1350,00	1	---
Falta de Ajuste	4725,00	0	0	---	---
Erro Puro	675,00	4	168,75	0,125	---
Total	67050,00	---	---	---	---

R^2 (Coeficiente de Correlação ou % de Variação Explicada)

91,95%

As Figuras 4.55 e 4.56 exibem a superfície de resposta e as curvas em nível, respectivamente, para o tempo de secagem de abacaxi em relação às variáveis cobertura e unidade dessecante.

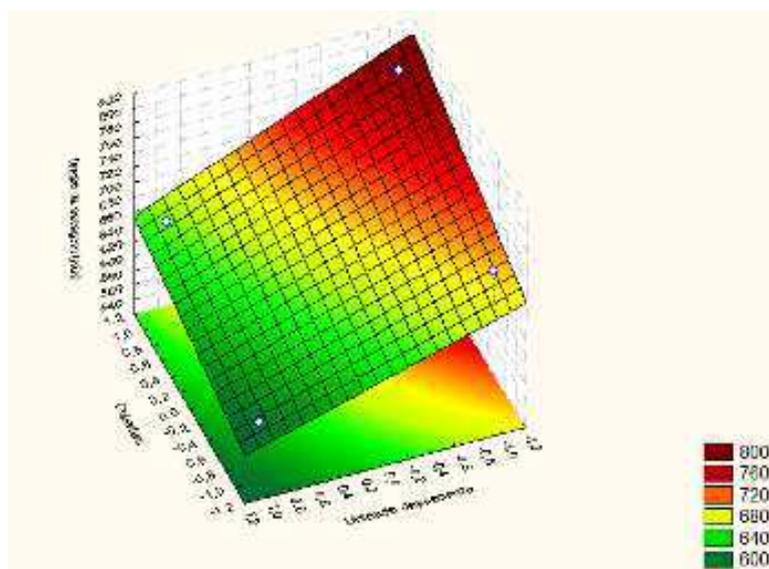
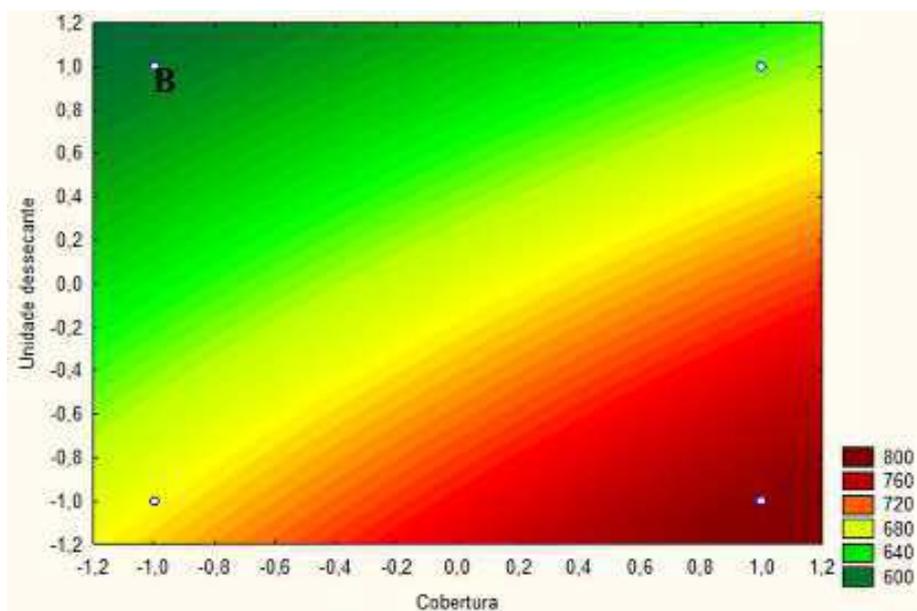
Figura 4.55: Superfície de resposta – Campina Grande (outono/inverno).

Figura 4.56: Superfície de contorno – Campina Grande (outono/inverno).



Com base nos dados apresentados, pode-se inferir que, no outono/inverno, o sistema de secagem com cobertura plana [-1] e com unidade dessecante [+1], identificado pelo ponto B na Figura 4.56, é a melhor configuração para a secagem solar de abacaxi quando o objetivo for a redução no tempo de secagem.

4.3.2 Planejamento experimental fatorial (primavera/verão)

A fim de obter uma uma melhor resposta em relação à variável cobertura, para os experimentos realizados durante a primavera/verão foi adotada uma combinação diferente. Os experimentos continuaram sendo realizados aos pares, dispostos da seguinte maneira: sistema de secagem com cobertura plana e sem unidade dessecante (SSI) e sistema de secagem com cobertura convexa e sem unidade dessecante(SSIII); e sistema de secagem com cobertura plana e com unidade dessecante (SSII) e sistema de secagem com cobertura convexa e com unidade dessecante (SSIV).

4.3.2.1 Planejamento experimental fatorial em Petrolina

Os experimentos 9 (no SSI) e 10 (no SSII) foram realizado no dia 28 de setembro de 2021 e as réplicas no dia 05 de outubro de 2021. Já os experimentos 11 (no SSII) e 12 (no SSIV) e suas réplicas foram realizados nos dias 30 de setembro de 2021 e 06 de outubro, respectivamente. A Tabela 4.7 apresenta os valores da variável dependente, obtidos experimentalmente.

Tabela 4.7: Matriz do planejamento experimental fatorial em Petrolina (primavera/verão).

Experimento	Variáveis		Respostas	
	Cobertura	Unidade Dessecante	$t_1(\text{min})$	$t_2(\text{min})$
9	-1 [Plana]	-1 [Sem]	420	360
10	+1 [Convexa]	-1 [Sem]	480	480
11	-1 [Plana]	+1 [Com]	540	540
12	+1 [Convexa]	+1 [Com]	420	420

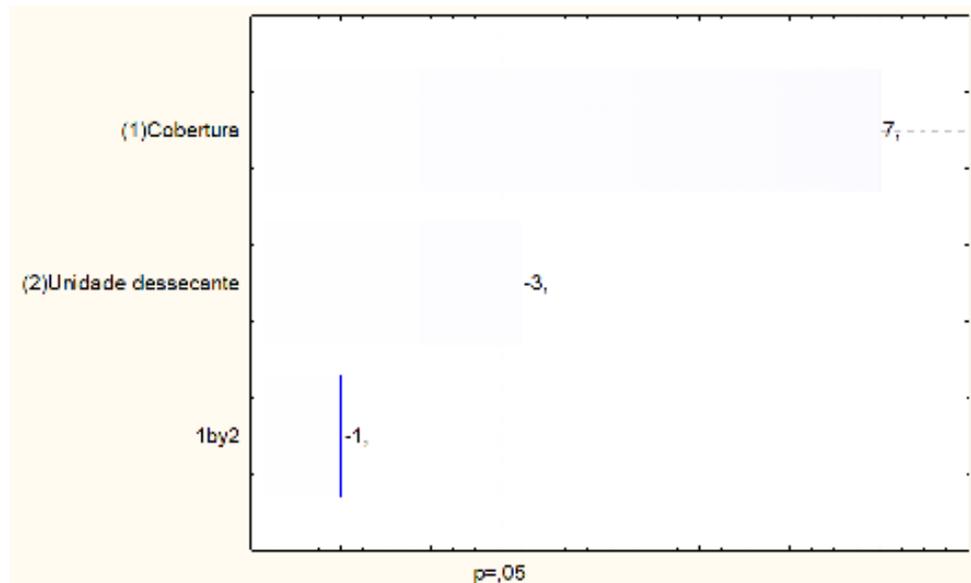
A Tabela 4.8 apresenta os efeitos lineares e de interação entre os parâmetros em relação ao tempo de secagem. Os valores em vermelho indicam que as variáveis, ou a interação entre elas, é significativa para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.8: Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental em Petrolina (primavera/verão).

Variáveis	Efeito	Erro padrão	p
Média	457,500	7,50000	0,000000
Cobertura (C)	105,000	15,00000	0,002192
Unidade Dessecante (UD)	-45,000	15,00000	0,039942
Interação (CXD)	-15,000	15,00000	0,373901

As variáveis cobertura e unidade dessecante foram significativas para a redução no tempo de secagem. Tal afirmação é perceptível no gráfico de Pareto, apresentado na Figura 4.57.

Figura 4.57: Avaliação das variáveis significativas (primavera/verão).



Pela Figura 4.57, é possível inferir que nível +1 para a variável cobertura, seja, a utilização da cobertura convexa contribui para o aumento do tempo de secagem e o nível -1 para a variável unidade dessecante reduz o tempo de secagem.

O modelo matemático para representar o tempo de secagem de abacaxi em um sistema de secagem de exposição direta, durante a primavera/verão em uma região do semiárido nordestino, é dado pela Equação 25 :

$$Y = 457,5 + 52,5X_1 - 22,5X_2 - 7,5X_1X_2 + 25,9 \quad (\text{Equação 25})$$

onde,

X_1 - variável codificada para a cobertura;

X_2 - variável codificada para a unidade dessecante;

X_1X_2 - interação codificada entre as variáveis.

Pela Análise de variância na Tabela 4.9, em relação à regressão o coeficiente de correlação é superior a 95%.. Por meio do teste F pode-se inferir que o modelo matemático obtido é significativo e preditivo.

Tabela 4.9: ANOVA- Petrolina (primavera/verão).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado da Média (QM)	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	104850	3	34950	76,86	6,59
Resíduos	1800	4	450	1	---
Falta de Ajuste	1575	0	0	0	26,36
Erro Puro	225	4	56,25	---	---
Total	106650	---	---	---	---
R ² (Coeficiente de Correlação ou % de Variação Explicada)					98,31%

As Figuras 4.58 e 4.59 exibem a superfície de resposta e as curvas em nível, respectivamente, para o tempo de secagem de abacaxi em relação às variáveis cobertura e unidade dessecante para os experimentos realizados durante a primavera/verão.

Figura 4.58: Superfície de resposta – Petrolina (primavera/verão).

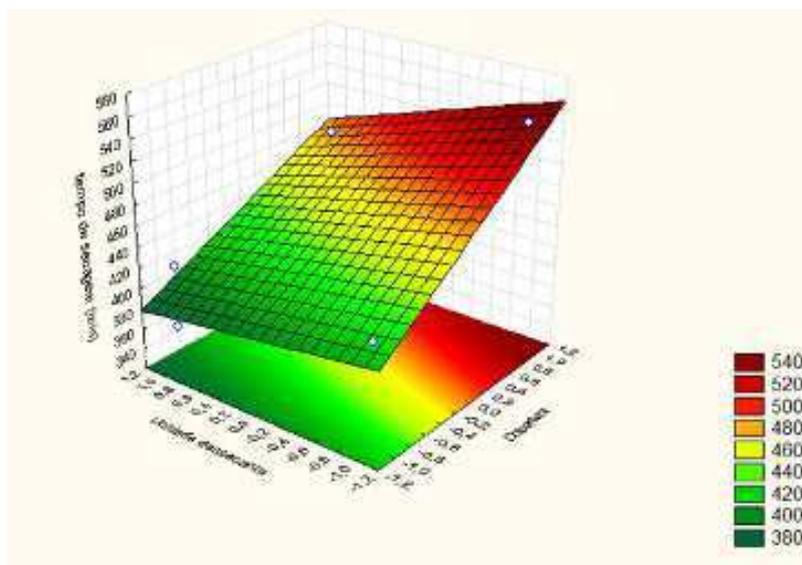
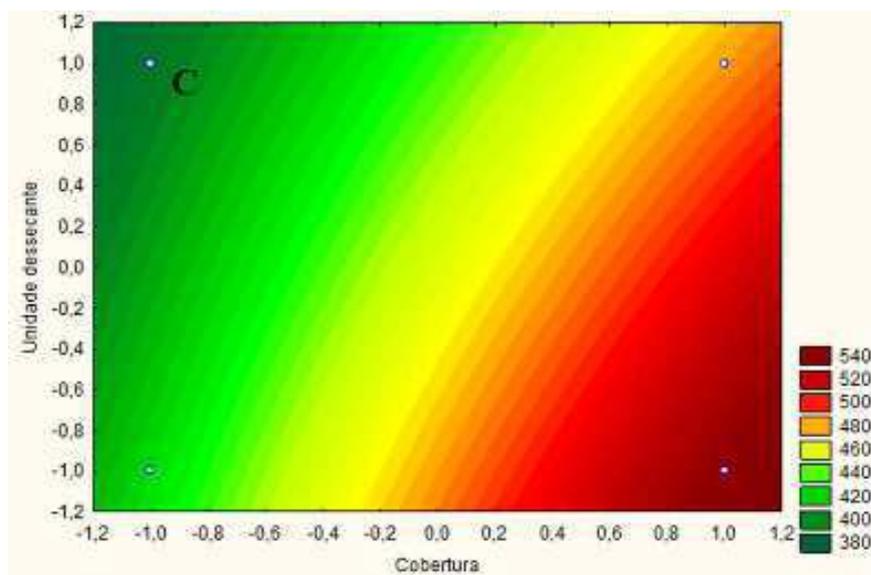


Figura 4.59: Superfície de contorno – Petrolina (primavera/verão)



Diante do exposto, pode-se afirmar que, durante a primavera/verão, o sistema de secagem com cobertura plana [-1] e com unidade dessecante [+1], identificado pelo ponto C na Figura 4.59, é a melhor configuração para a secagem solar de abacaxi visando a redução no tempo de secagem.

4.3.2.2 Planejamento experimental fatorial em Campina Grande

Os experimentos 15 (no SSII) e 16 (no SSIV) foram realizados nos dias 21 e 22 de outubro de 2021 e as réplicas nos dias 29 e 30 de outubro de 2021. Já os experimentos 13 (no SSI) e 14 (no SSIII) e suas réplicas foram realizados nos dias 25 e 26 de outubro de 2021, e 29 e 30 de outubro, respectivamente. A Tabela 4.10 apresenta os valores da variável dependente, obtidos experimentalmente.

Tabela 4.10: Matriz do planejamento experimental fatorial (primavera/verão).

Experimentos	Variáveis		Respostas	
	Cobertura	Unidade Dessecante	t_1 (min)	t_2 (min)
13	-1 [Plana]	-1 [Sem]	600	600
14	+1 [Convexa]	-1 [Sem]	660	600
15	-1 [Plana]	+1 [Com]	600	600
16	+1 [Convexa]	+1 [Com]	720	720

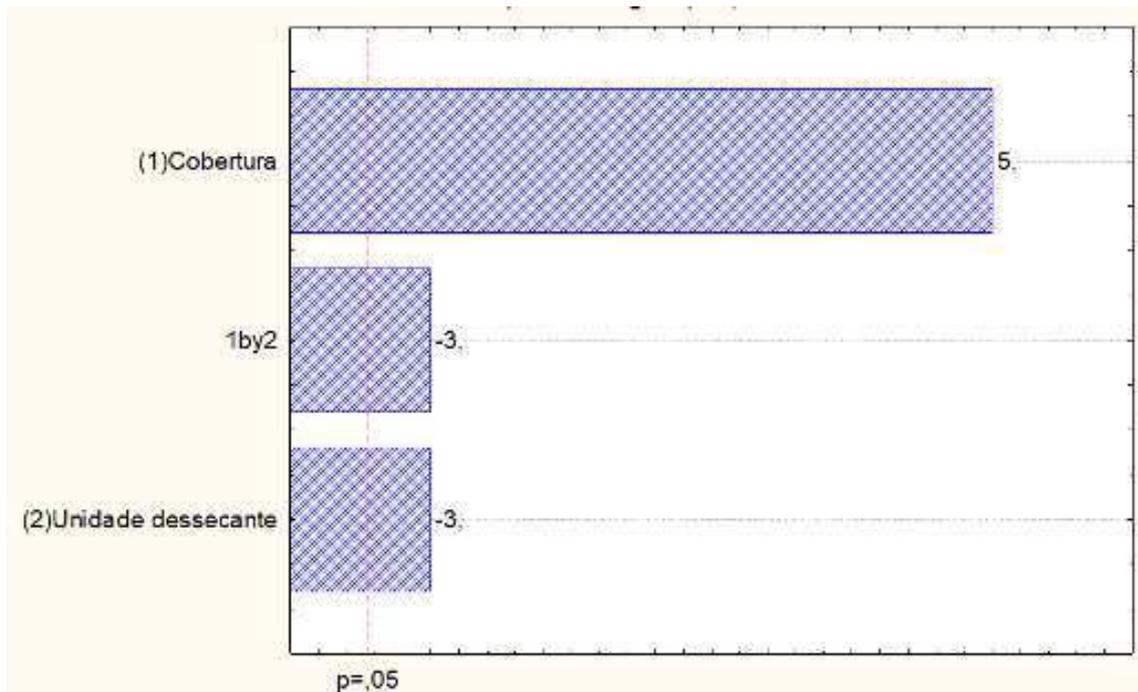
Na Tabela 4.11 são apresentados os valores dos efeitos lineares e de interação entre os parâmetros em relação ao tempo de secagem. Os valores em vermelho indicam que as variáveis, ou a interação entre elas, é significativa para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.11: Efeitos lineares e de interação do planejamento experimental 2^2 (primavera/verão).

Variáveis	Efeito	Erro padrão	P
Média	637,50	7,50	0,000000
Cobertura (C)	75,0	15,00	0,007490
Unidade Dessecante (UD)	-45,0	15,00	0,039942
Interação (CXD)	-45,000	15,00	0,039942

Todas as variáveis independentes foram significativas para a redução no tempo de secagem, inclusive a interação entre elas, como ilustrado no gráfico de Pareto, apresentado na Figura 4.60.

Figura 4.60: Avaliação das variáveis significativas (primavera/verão).



Por meio do gráfico de Pareto, fica claro que em Campina Grande, durante a primavera/verão, o nível -1 para a variável unidade dessecante e interação entre as variáveis unidade dessecante e cobertura, e o nível +1 para a variável cobertura favorecem para a redução do tempo de secagem do abacaxi.

O modelo matemático para representar o tempo de secagem de abacaxi em um sistema de secagem de exposição direta, durante a primavera/verão na região do agreste paraibano, é dado pela Equação 26:

$$Y = 637,5 + 37,5X_1 - 22,5X_2 + 22,5X_1X_2 + 15 \quad (\text{Equação 26})$$

onde,

X_1 - variável codificada para cobertura;

X_2 - variável codificada para unidade dessecante;

X_1X_2 - interação entre as variáveis codificadas.

A análise de variância apresentada na Tabela 4.12, mostra que, em relação à regressão, o coeficiente de correlação é superior a 95%. A análise do teste F mostra que

o modelo matemático obtido é significativo e preditivo. Em, relação à falta de ajuste, o teste F garante que o modelo é bem ajustado.

Tabela 4.12: ANOVA – Campina Grande (primavera/verão).

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado da Média (QM)	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	65250	3	21750	48,33333	6,59
Resíduos	1800	4	450	1	---
Falta de Ajuste	1575	0	---	----	---
Erro Puro	225	4	56,25	0,125	---
Total	67050	---	---	---	---
R ² (Coeficiente de Correlação ou % de Variação Explicada)					97,32%

As Figuras 4.61 e 4.62 exibem a superfície de resposta e as curvas em nível, respectivamente, para o tempo de secagem de abacaxi em relação às variáveis cobertura e unidade dessecante.

Figura 4.61: Superfície de resposta – Campina Grande (primavera/verão).

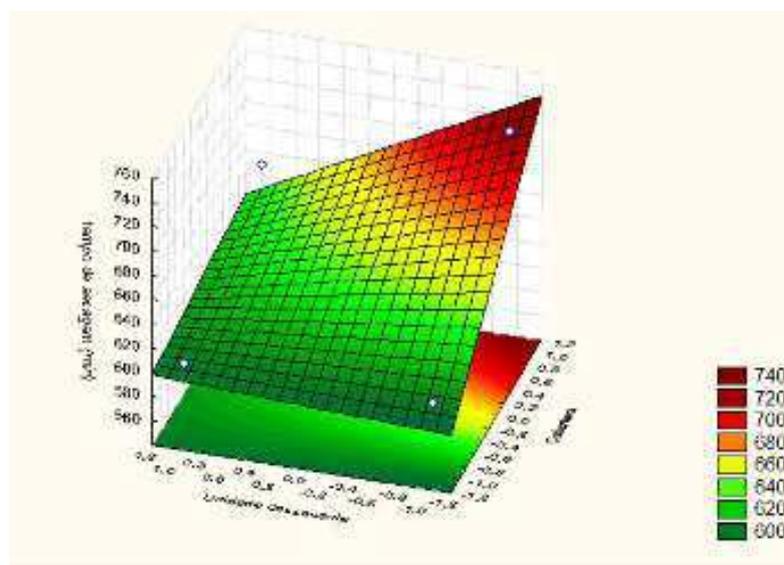
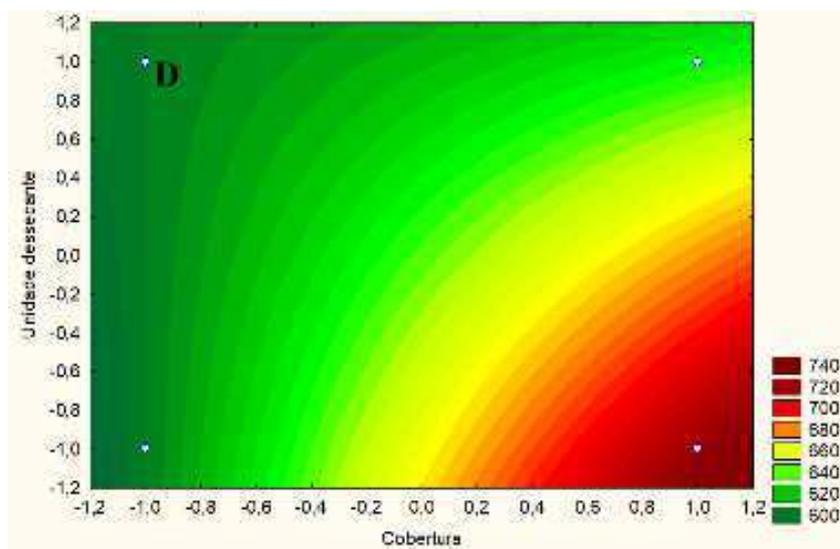


Figura 4.62: Superfície de contorno – Campina Grande (primavera/verão).



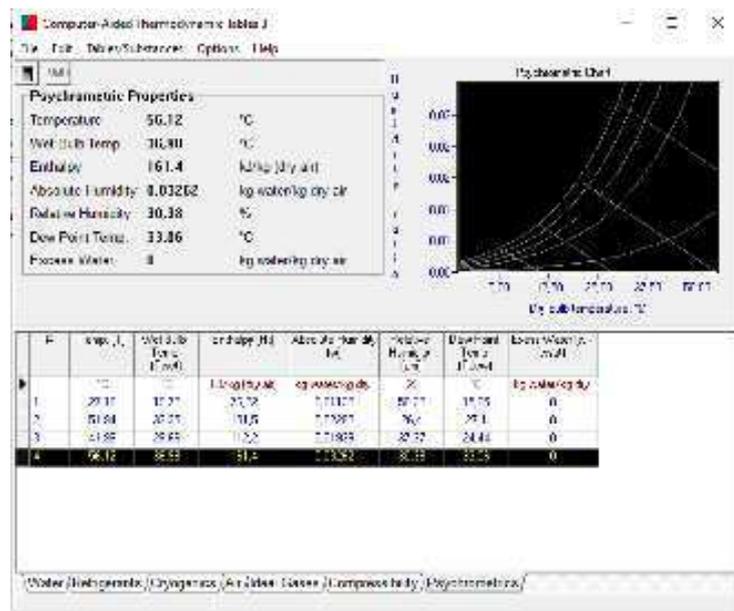
De modo análogo ao observado durante os outros experimentos nota-se que, também, durante a primavera/verão, o sistema de secagem com cobertura plana [-1] e com unidade dessecante [+1], identificado pelo ponto D na Figura 4.62, é a melhor configuração para a secagem solar de abacaxi.

4.4 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO TÉRMICO

A avaliação do rendimento térmico do equipamento foi feito através da média dos rendimentos térmicos obtidos durante a realização dos experimentos até que as amostras atingissem o teor de umidade em base úmida. Serão apresentados os valores obtidos durante o outono/inverno e em seguida os dados referentes à primavera/verão.

Os dados de entalpia do ar e entalpia de vaporização da água foram obtidos pelo *software Computer Aided Thermodynamics Tables 3 (CATT3)*, a partir da temperatura, umidade do ar na entrada e saída do sistema de secagem e da pressão atmosférica. A interface do *software CATT3* é apresentada na Figura 4.63.

Figura 4.63: Interface do software CATT3.



Após a obtenção dos dados, a cada 60 min de entalpia do ar na entrada e saída do sistema de secagem e da entalpia de vaporização da água retirada do abacaxi, o rendimento foi calculado, pela Equação 17, para cada hora de experimento e, em seguida, foi calculada a média aritmética desses rendimentos. A seguir, é apresentado um exemplo do cálculo feito para o rendimento térmico do SSI e do SSII às 9 h no dia 25/03/2021.

Substituindo os valores disponíveis na Tabela C1 do Apêndice C para as 9 h no sistema de secagem com cobertura plana e sem sílica (SSI), tem-se:

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{\dot{Q}_{\text{real}}}{\dot{Q}_{\text{solar}}}$$

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{0,002767 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(131,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 76,22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + \left(3,0916 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 217,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{1,08 \text{ m}^2 \cdot 604,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$\eta_{\text{secador}} = 23,54\%$$

Substituindo os valores disponíveis na Tabela C2 do Apêndice C para as 9 h no sistema de secagem com cobertura plana e com sílica (SSII), tem-se:

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{\dot{Q}_{\text{real}}}{\dot{Q}_{\text{solar}}}$$

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{0,002767 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(155,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 112,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + \left(3,61 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 301,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{1,08 \text{ m}^2 \cdot 811 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$\eta_{\text{secador}} = 18,60\%.$$

As Figuras 4.64 e 4.65 apresentam o rendimento térmico dos sistemas de secagem, com cobertura plana, durante a realização do experimento nas cidades de Petrolina e Campina Grande, respectivamente.

Os valores utilizados no cálculo do rendimento térmico em cada hora de realização dos experimentos, para SSI e SSII, estão registrados nas Tabelas C1, C2, C7 e C8 do Apêndice C.

Figura 4.64: Rendimento térmico SSI x SSII em Petrolina - PE (25 e 26/03/2021).

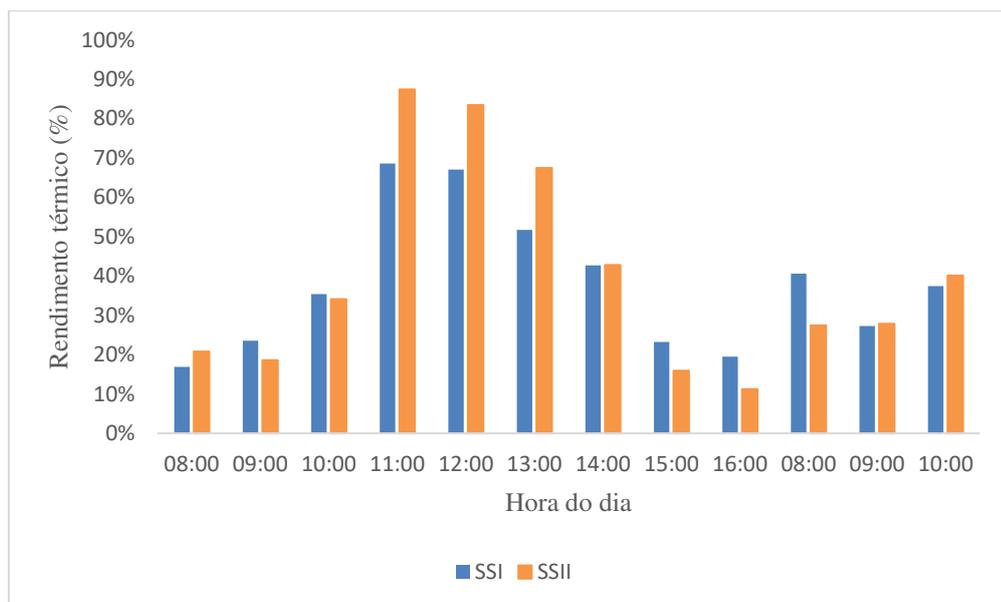
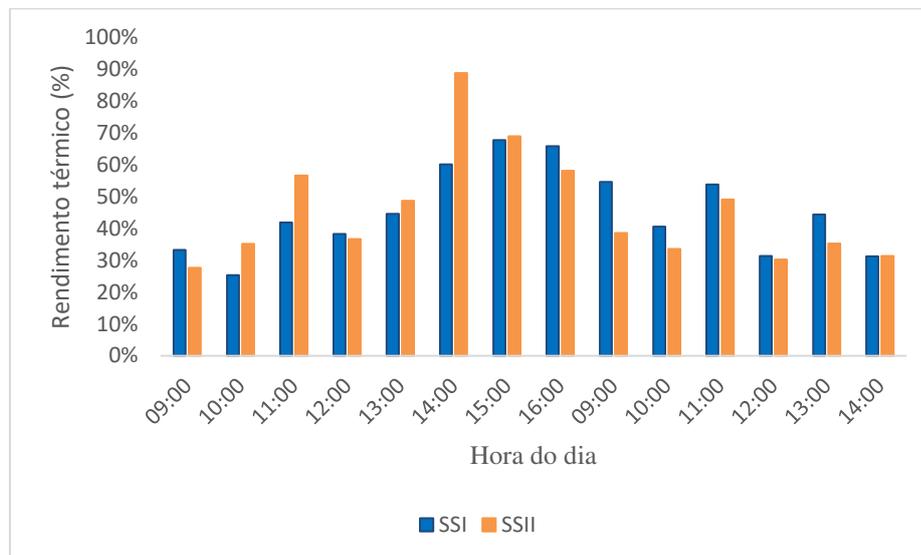


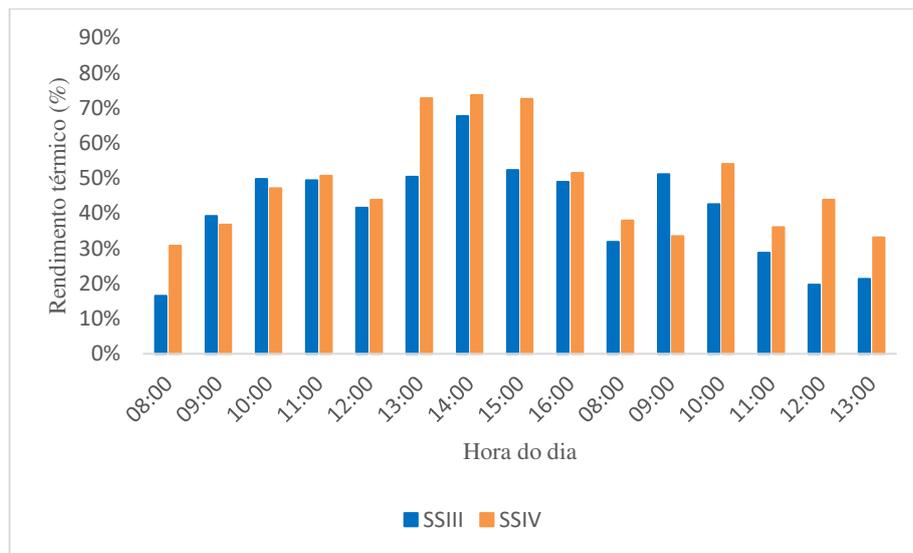
Figura 4.65: Rendimento térmico SSI x SSII em Campina Grande - PB (08 e 10/05/2021).



A média dos rendimento térmico dos sistemas de secagem SSI e SSII em Petrolina e Campina Grande foram 37,84%, 39,76%, 46,51% e 47,73%, respectivamente. Isto mostra que o sistema de secagem com cobertura plana apresenta valores satisfatórios para o rendimento térmico nas duas localidades. Devido às condições meteorológicas os valores para o rendimento térmico foram maiores em Campina Grande do que em Petrolina.

A utilização do dessecante além de ser um fator importante na redução do tempo de secagem, também foi relevante para o incremento do rendimento térmico. Em relação aos sistemas de secagem com cobertura convexa, a utilização do dessecante contribuiu para o aumento do rendimento térmico após as 12 h em Petrolina, como pode ser observado na Figura 4.66.

Figura 4.66: Rendimento térmico SSIII x SSIV em Petrolina - PE (13 e 14/04/2021).



Em Campina Grande, devido à instabilidade das condições meteorológicas houve uma oscilação nos valores do rendimento térmico durante a realização do experimento, como ilustrado na Figura 4.67. Os maiores valores para o rendimento térmico nos SSIII e SSIV foram registrados no período entre as 14 h e 16 h do dia 03/05 e às 12 h do dia 04/05, respectivamente.

Figura 4.67: Rendimento térmico SSIII x SSIV em Campina Grande - PB (03, 04 e 06/05/2021).



Os valores necessários para o cálculo do rendimento térmico em cada hora de realização dos experimentos, para os sistemas SSIII e SSIV realizados em Petrolina e Campina Grande, são apresentados nas Tabelas C3, C4, C5 e C6 do Apêndice D.

A média dos rendimento térmico dos sistemas de secagem SSIII e SSIV em Petrolina foi de 40,77%, 47,91%, respectivamnete. Já em Campina Grande, a média dos rendimentos foram de 34,37% e 34,40%, respectivamente. A méda dos rendimentos térmicos foram maiores em Petrolina devido as condições meteorológicas durante a realização dos experimentos.

Durante a primavera/verão como os testes foram feitos analisando os sistemas de secagem com cobertura distintas e variando a utilização ou não da unidade dessecante, a variação do rendimento térmico ao longo do dia pode ser observado nas Figuras 4.68 e 4.69.

Figura 4.68: Rendimento térmico SSI X SSIII em Petrolina (28 e 29/09).

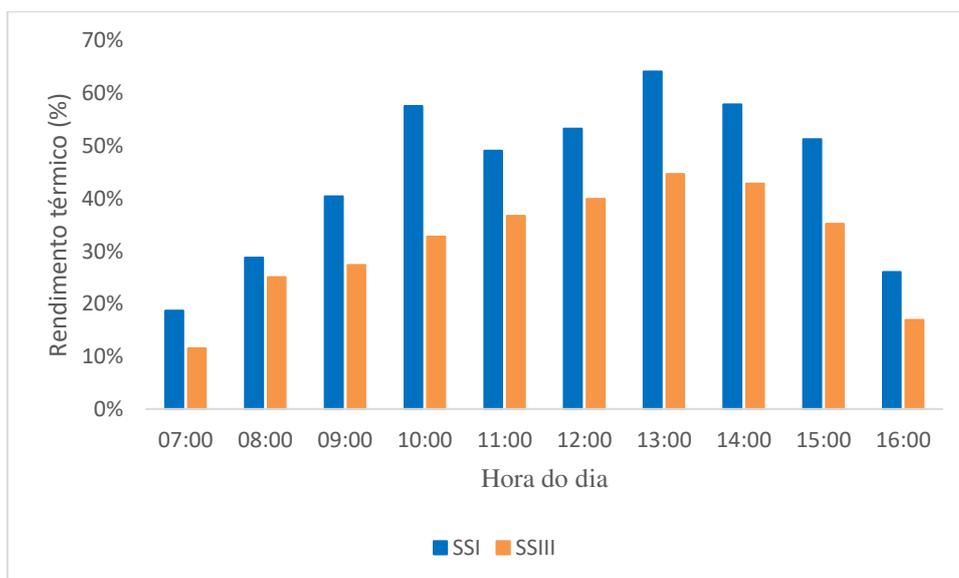
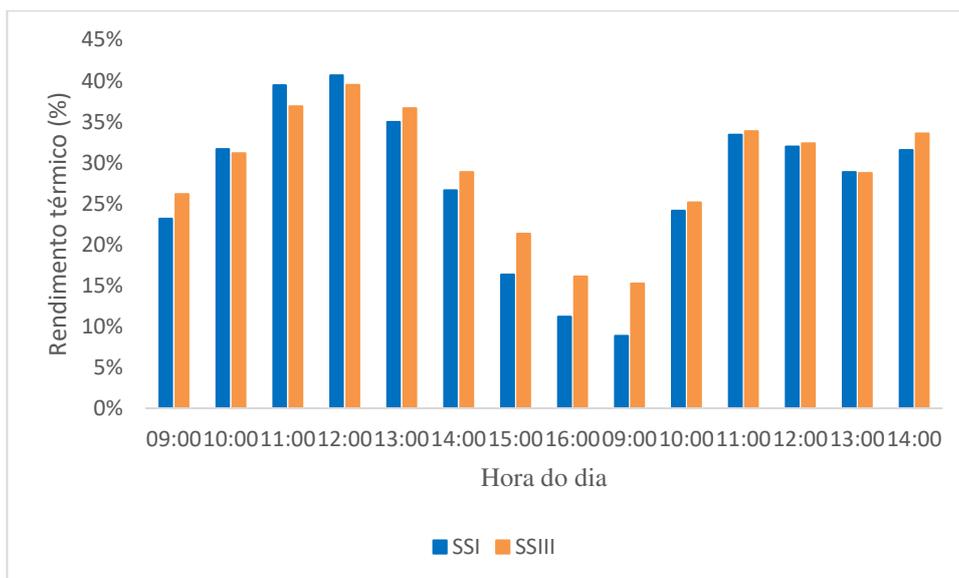


Figura 4.69: Rendimento térmico SSI X SSIII em Campina Grande (25 e 26/10/2021)

Nos sistemas de secagem solar sem unidade dessecante os maiores valores para o rendimento térmico foram registrados no período entre as 10 h e 15 h em Petrolina e entre as 10 h e 14 h em Campina Grande. A média do rendimento térmico em Petrolina foi de 44,72% no SSI e 31,31% no SSIII. Em Campina Grande, o SSI também apresentou maior média para o rendimento térmico de 43,73% enquanto o SSIII teve um média de 33,85%.

A variação do rendimento térmico nos sistemas de secagem com unidade dessecante nas duas localidades é apresentado nas Figuras 4.70 e 4.71.

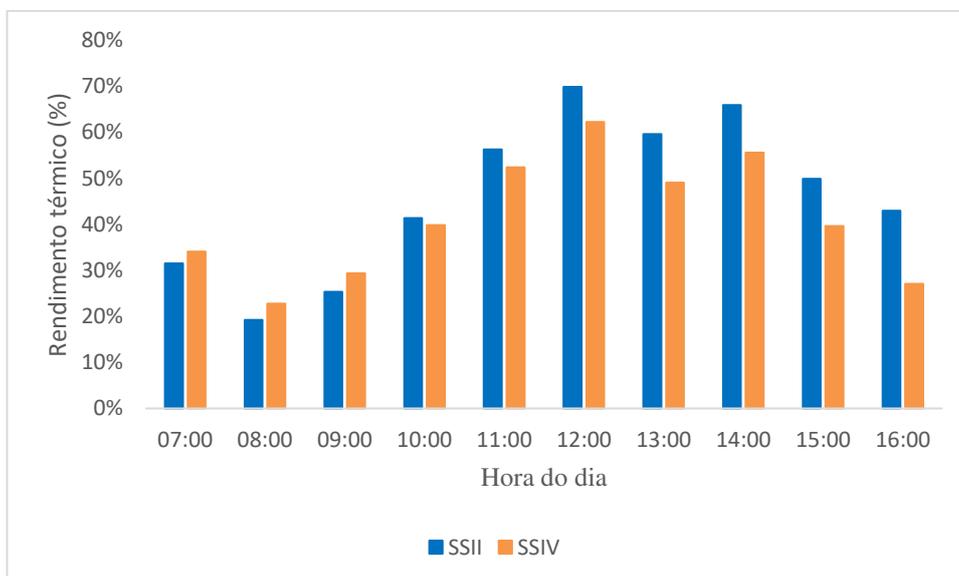
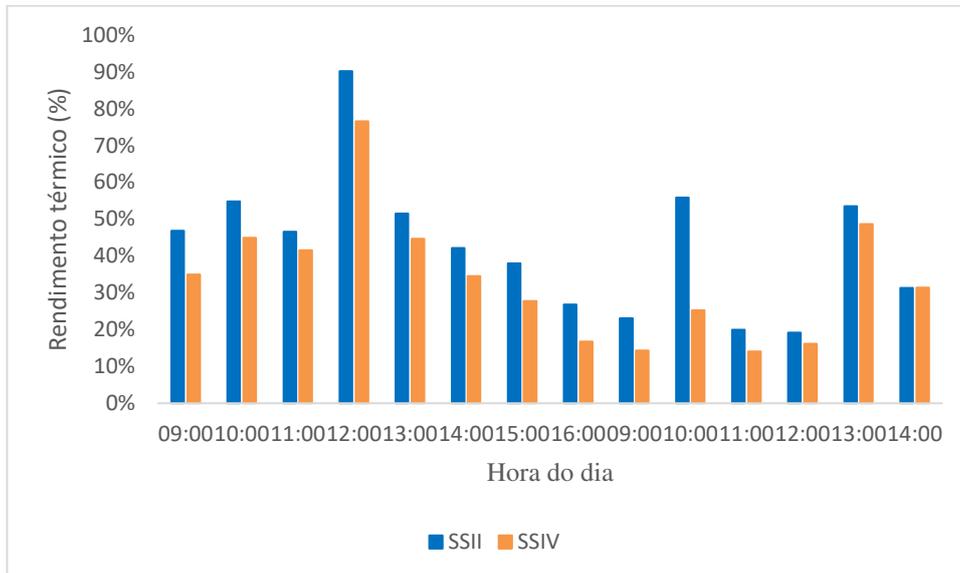
Figura 4.70: Rendimento térmico SSII X SSIV em Petrolina (30/09/21)

Figura 4.71: Rendimento térmico SSII xSSIV em Campina Grande(21 e 22/10/21)

Em Petrolina os maiores valores para o rendimento térmico foram registrados no período entre as 10 h e 15 h para os sistemas de secagem solar com unidade dessecante. Já em Campina Grande, os maiores valores foram registrados das 9 h as 13 h no primeiro dia do experimento.

A média dos rendimentos térmicos no SSII e SSIV em Petrolina foi de 46,19% e 41,19%, respectivamente. Em Campina Grande, a média dos rendimentos foi menor, sendo 43,73% para o SSII e 33,85% para o SSIV.

A Tabela 4.13 apresenta, resumidamente, o tempo de secagem e a média do rendimento térmico para a secagem de abacaxi em regiões com condições meteorológicas diferentes.

Tabela 4.13: Resumo tempo de secagem e rendimento térmico.

Condições meteorológicas	Localidade	Sistema de secagem	Data	Tempo de secagem* (min)	Média do rendimento térmico (%)
Outono/Inverno	Petrolina - PE	I	25 e 26/03/21	600	39,15
		II		490	39,76
		III	13 e 14/04/21	770	40,77
		IV		720	47,91
	Campina Grande - PB	I	08 e 10/05/21	700	46,51
		II		630	47,73
		III	03, 04 e 06/05/21	700	34,37
		IV		650	34,40
Primavera/Verão	Petrolina - PE	I	28/09/21	420	44,72
		II	30/09/21	420	46,19
		III	28/09/21	530	31,31
		IV	30/09/21	480	41,19
	Campina Grande - PB	I	21 e 22/10/21	600	29,29
		II	25 e 26/10	600	43,73
		III	21 e 22/10/21	680	31,07
		IV	25 e 26/10	660	33,85

* $X_{bu} \leq 25\%$

Com base nos dados apresentados, pode-se inferir que as amostras de abacaxi do sistema de secagem solar com cobertura plana e unidade dessecante atingiram, mais rapidamente, o teor de umidade desejado em Petrolina e Campina Grande mesmo sob condições meteorológicas distintas. Vale ressaltar que nos testes realizados durante a primavera/verão, não foi verificada influência da utilização da unidade dessecante na redução do tempo de secagem quando utilizado a cobertura plana.

Em relação a avaliação do rendimento térmico do sistema de secagem solar, é perceptível que a utilização da cobertura plana e da unidade dessecante é relevante para o incremento do rendimento térmico. Exceto em Petrolina, durante o outono/inverno, o sistema de secagem com cobertura plana e unidade dessecante apresentou as maiores médias do rendimento térmico.

Deste modo, tanto a geometria da cobertura do sistema de secagem solar quanto a utilização da unidade dessecante influenciam no tempo de secagem e rendimento térmico do equipamento.

4.5 AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DO ABACAXI

Como mencionado anteriormente, as amostras utilizadas durante a realização dos experimentos foram pesadas em intervalos de 60 min. Com base nesses dados, foram determinados o teor de umidade em base seca, teor de umidade de equilíbrio e a razão de umidade, conforme descrito na Equação 19.

O teor de umidade em base seca e a razão de umidade dos experimentos realizados no outono/inverno, na cidade Petrolina, estão registrados nas Tabelas A2 e A4. As Tabelas A10 e A12, do Apêndice A, contêm os dados referentes à cidade de Campina Grande.

Na Tabela 4.14, encontram-se os valores dos parâmetros de ajuste da cinética e da secagem realizada no verão para os modelos adotados neste trabalho. Os três modelos matemáticos apresentam um ajuste satisfatório aos dados experimentais e foram obtidos coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,96 nas duas cidades.

Em geral, o modelo de Page apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais com valores para o coeficiente de determinação maiores que 0,99 para os quatro sistemas de secagem.

O parâmetro “k” dá informação sobre o tempo necessário para atingir o teor de umidade de equilíbrio; assim, valores maiores que “k” indicam que o teor de umidade de equilíbrio foi alcançado em um tempo menor (RODRIGUES e MARFIL, 2020). Em todos os modelos, o sistema com dessecante apresentou maiores valores para “k”, o que

ratifica o protagonismo da utilização do dessecante, mesmo sob as condições meteorológicas de Petrolina durante o verão (baixos valores para a umidade relativa do ar).

Em relação ao parâmetro “n”, Cavalcanti-Mata (2018) destaca que esse parâmetro é um efeito de conformidade temporal e tem a função de corrigir os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água, não existindo obrigatoriedade de uma correlação com as condições de secagem.

Tabela 4.14: Parâmetros e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos ajustados às curvas de secagem (outono/inverno).

Local de realização	Data de realização	Sistema de Secagem	Modelo dois termos					Modelo de Lewis		Modelo de Page		
			R^2	a	k_0	b	k_1	R^2	k	R^2	k	n
Petrolina	25 e 26/03/21	I	0,9768	0,5227	0,0040	0,5227	0,0040	0,9734	0,0038	0,9903	0,0008	1,2782
		II	0,9796	0,5381	0,0055	0,5381	0,0055	0,9722	0,0050	0,9938	0,0008	1,3510
	13 e 14/04/21	III	0,9792	0,5468	0,0042	0,5461	0,0042	0,9691	0,0040	0,9919	0,0005	1,3393
		IV	0,9816	0,5391	0,0043	0,5391	0,0043	0,9748	0,0040	0,9926	0,0008	1,2882
Campina Grande	08 e 10/05/21	I	0,9880	0,5087	0,0032	0,5087	0,0032	0,9847	0,0030	0,9917	0,0015	1,1223
		II	0,9863	0,5091	0,0035	0,5091	0,0035	0,9658	0,0040	0,9908	0,0015	1,1414
	03, 04 e 06/05/21	III	0,9939	0,8609	0,0040	0,1439	0,0139	0,9919	0,0045	0,9936	0,0068	0,9277
		IV	0,9914	0,5027	0,0043	0,5027	0,0043	0,9888	0,0045	0,9913	0,0041	1,0087

Vale ressaltar que os dados experimentais das secagens realizadas no SSIII e no SSIV, em Campina Grande, também apresentaram um bom ajuste ao modelo de dois termos, com valores para R^2 superiores a 0,99; resultado semelhante aos obtidos por Quintero (2007) no estudo da secagem do abacaxi e por Baia et al. (2015), ao analisar a secagem de barbatimão.

Em relação ao parâmetro “k”, os sistemas com dessecante apresentaram valores maiores ou iguais em comparação aos sistemas sem dessecante. Uma provável justificativa para esse fato é o tempo de saturação da sílica gel, maior no outono/inverno.

As curvas apresentadas nas Figuras 4.72 a 4.75 representam a variação da razão de umidade em função do tempo para os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais obtidos no SSI, no SSII, no SSIII e no SSIV, respectivamente, na cidade de Petrolina. Na Figura 4.72 o modelo de Page coincide com o modelo de Lewis.

Figura 4.72: Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Petrolina (outono/inverno).

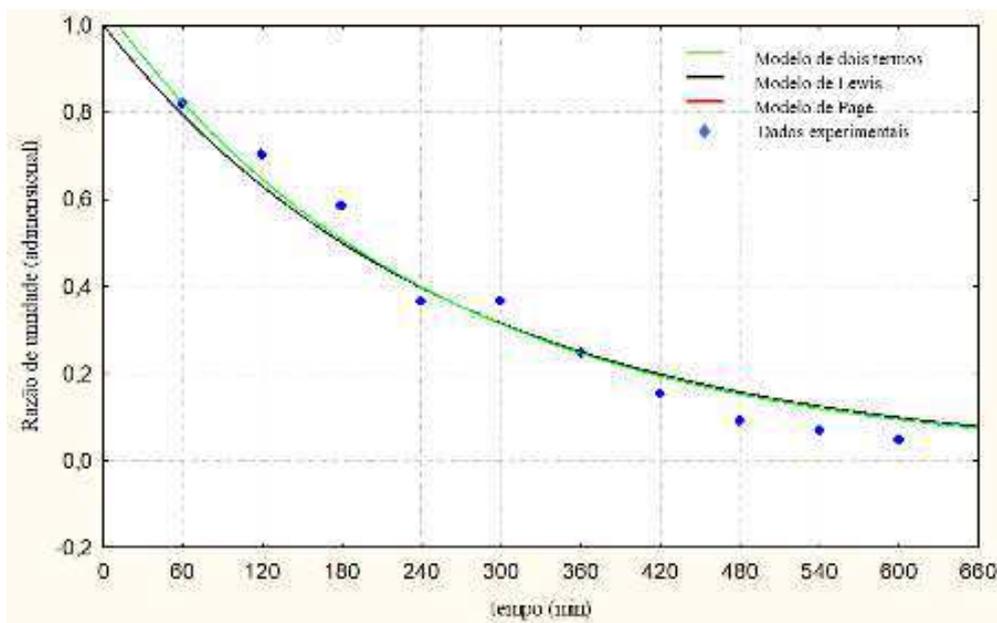


Figura 4.73: Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Petrolina (outono).

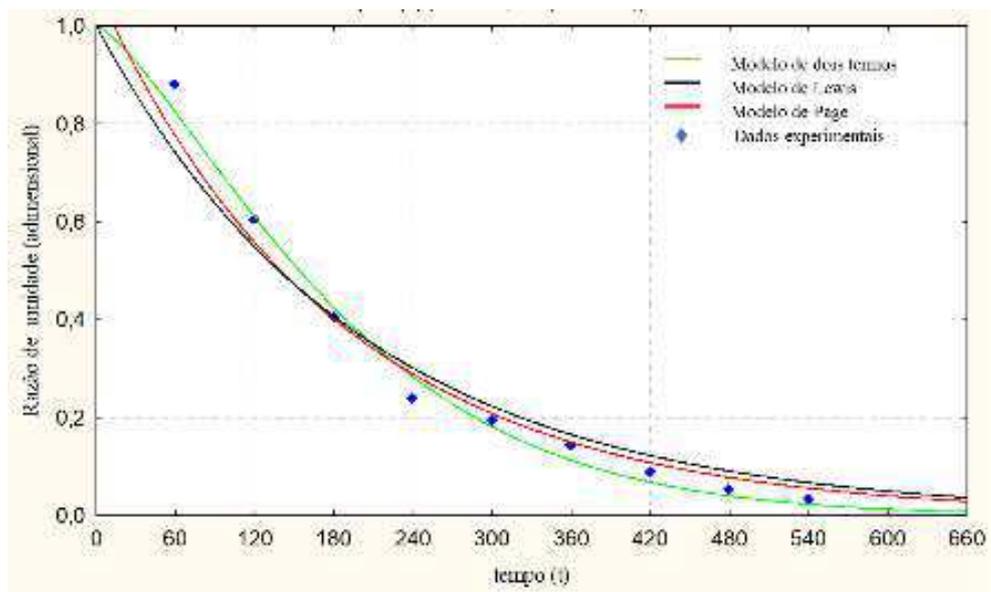


Figura 4.74: Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Petrolina (outono/inverno).

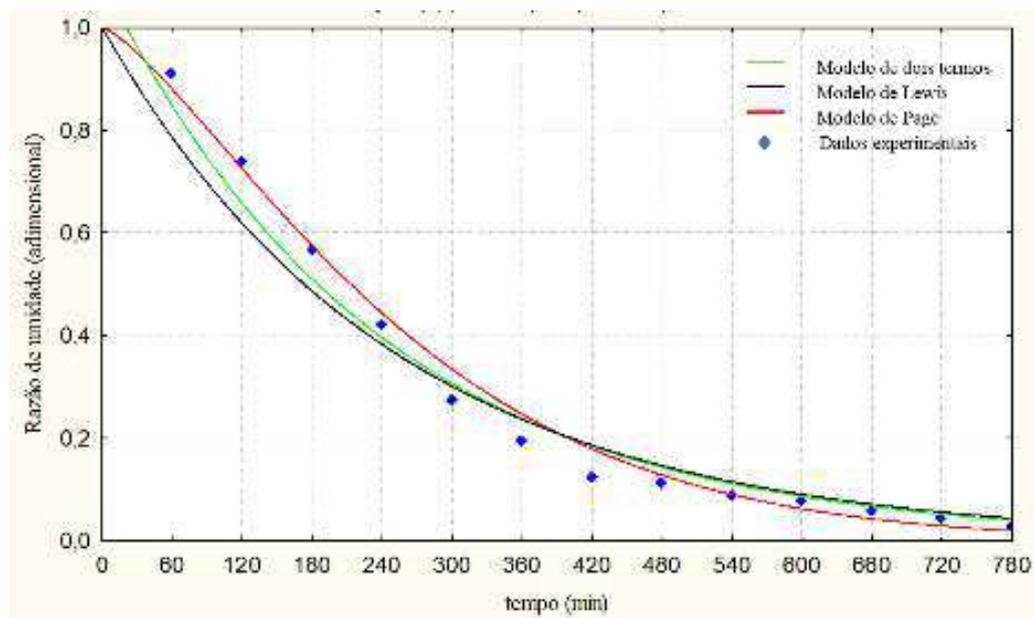
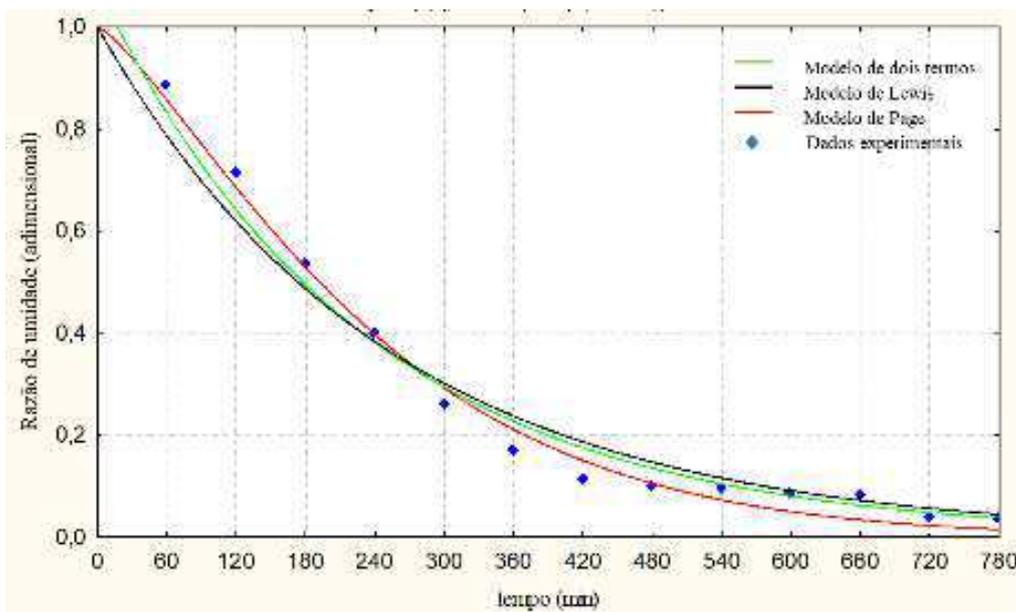


Figura 4.75: Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Petrolina (outono/inverno).



As curvas apresentadas nas Figuras 4.76 a 4.79 representam a variação da razão de umidade em função do tempo para os experimentos realizados em Campina Grande.

Figura 4.76: Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Campina Grande (outono/inverno).

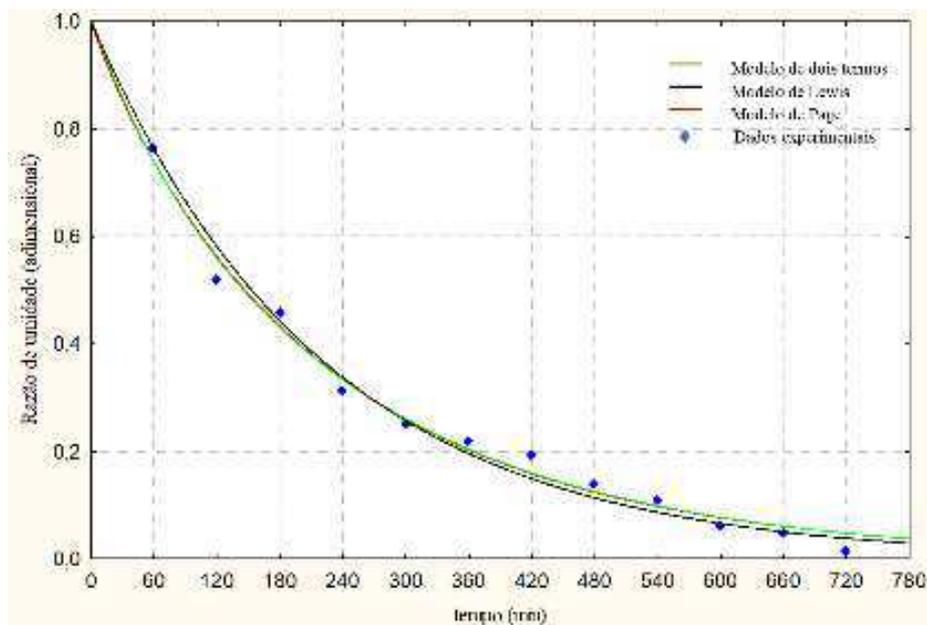


Figura 4.77: Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Campina Grande (outono/inverno).

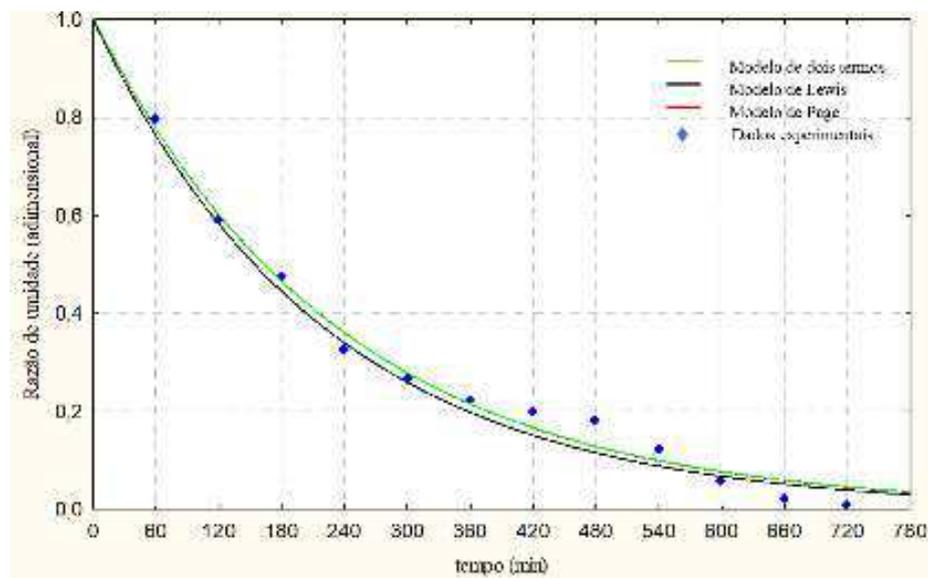


Figura 4.78: Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Campina Grande (outono/inverno).

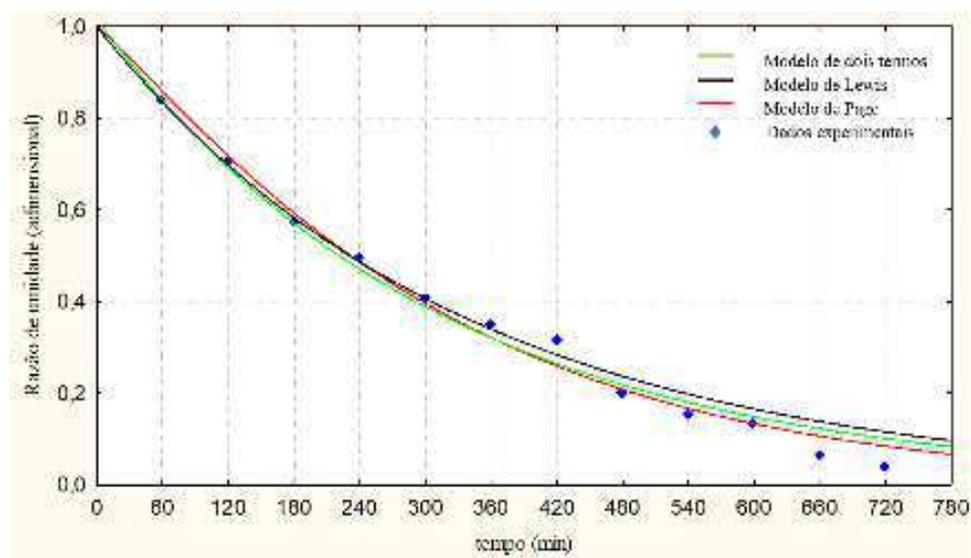
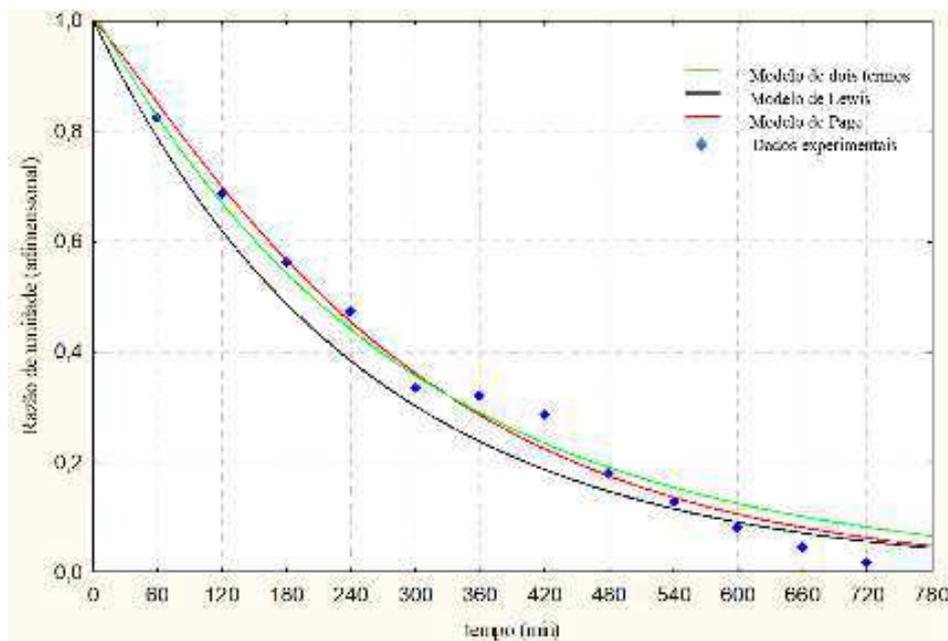


Figura 4.79: Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Campina Grande (outono/inverno).



Em todas cinéticas de secagem apresentadas, observou-se assim como Moscon et al. (2017), Vieira (2018) e Gomes (2021), que a razão de umidade sofre uma redução acentuada no início do processo de secagem e, quando está próxima do teor de equilíbrio, torna-se parcialmente constante.

O teor de umidade em base seca e a razão de umidade dos experimentos realizados na primavera/verão, na cidade Petrolina, estão registrados nas Tabelas B2 e B4. As Tabelas B10 e B12, do Apêndice B, contêm os dados referentes à cidade de Campina Grande.

Os valores dos parâmetros para o ajuste dos dados obtidos durante a primavera/verão estão registrados na Tabela 4.15. Os modelos de dois termos e o modelo de Page apresentaram valores satisfatórios para o coeficiente de correlação para todos os sistemas de secagem, com valores superiores a 0,91 nos dois locais de realização de testes. No entanto, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais obtidos durante a primavera/verão, com R^2 superior a 0,96 para os testes realizados em Petrolina e R^2 superior a 0,99 para os testes realizados em Campina Grande .

Tabela 4.15: Parâmetros e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos ajustados às curvas de secagem (primavera/verão).

Local de realização	Data de realização	Sistema de Secagem	Modelo dois termos					Modelo de Lewis		Modelo de Page		
			R^2	a	k_0	b	k_1	R^2	k	R^2	k	n
Petrolina	28/09/21	I	0,9504	0,5577	0,00514	0,5577	0,0051	0,9339	0,0045	0,9903	0,0001	1,5714
	30/10/21	II	0,9115	0,5647	0,0046	0,5657	0,0046	0,8917	0,0041	0,9698	0,0002	1,4860
	28/09/21	III	0,9552	0,5303	0,0044	0,5303	0,0044	0,9468	0,0041	0,9834	0,0007	1,2966
	30/10/21	IV	0,9161	0,5617	0,0045	0,5617	0,0045	0,8976	0,0040	0,9806	0,0001	1,5946
Campina Grande	25 e 26/10/21	I	0,9852	0,5342	0,0046	0,5342	0,0046	0,9796	0,0044	0,9978	0,0008	1,2909
	21 e 22/10/21	II	0,9914	0,5179	0,0045	0,5179	0,0045	0,9898	0,0044	0,9942	0,0029	1,0725
	25 e 26/10/21	III	0,9888	0,5311	0,0048	0,5311	0,0048	0,9847	0,0045	0,9961	0,0011	1,2559
	21 e 22/10/21	IV	0,9904	0,5085	0,0038	0,5085	0,0038	0,9890	0,0038	0,9965	0,0014	1,1687

Estudos de secagem realizados por Vieira et al. (2018), Rodrigues e Marfil (2020) e Gomes (2021) utilizando abacaxi e Fernandes (2021) utilizando banana também apresentaram valores satisfatórios de R^2 para o modelo de Page.

As curvas apresentadas nas Figuras 4.80 a 4.83 representam a variação da razão de umidade em função do tempo para os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais obtidos no SSI, no SSII, no SSIII e no SSIV, respectivamente, na cidade de Petrolina.

Figura 4.80: Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Petrolina (primavera/verão).

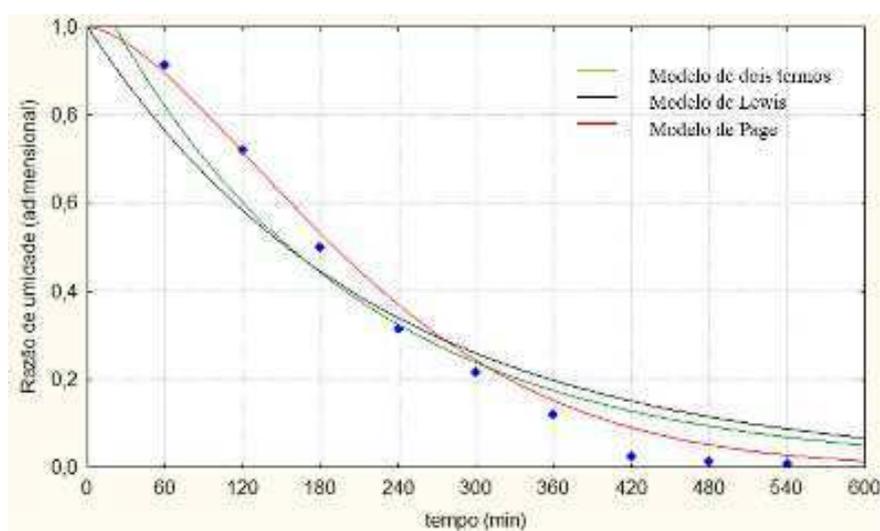


Figura 4.81: Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Petrolina (primavera/verão).

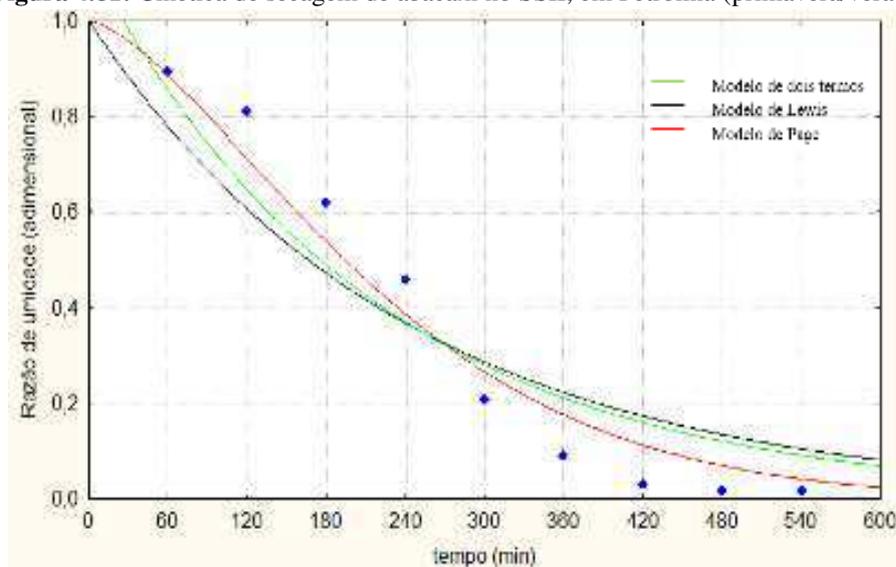


Figura 4.82: Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Petrolina (primavera/verão).

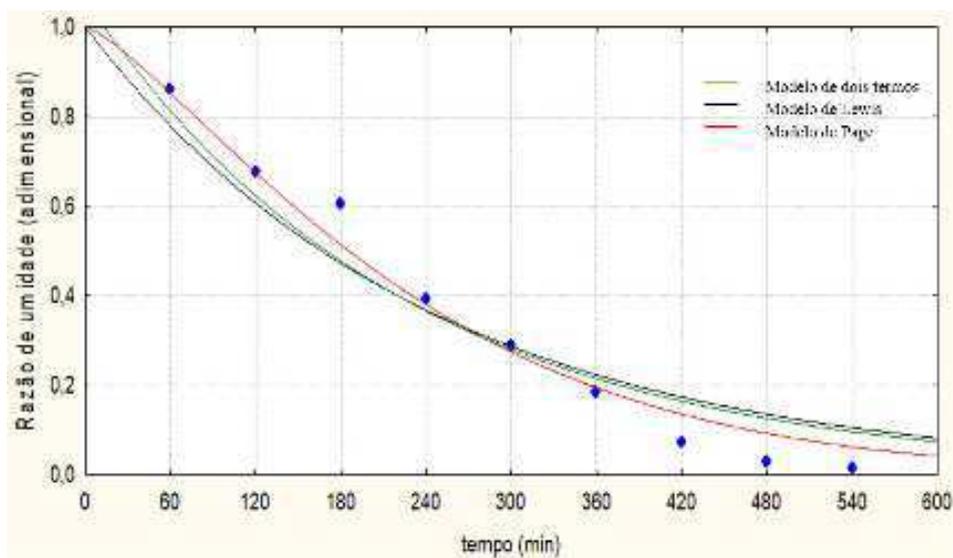
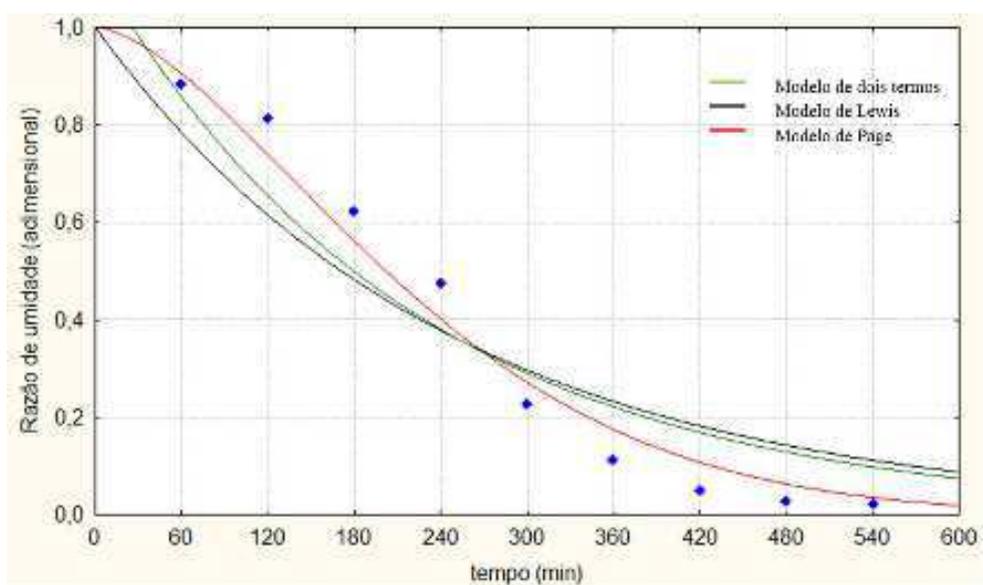


Figura 4.83: Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Petrolina (primavera/verão).



As cinéticas apresentadas nas Figuras 4.84 a 4.87 representam a variação da razão de umidade em função do tempo para os experimentos realizados em Campina Grande.

Figura 4.84: Cinética de secagem de abacaxi no SSI, em Campina Grande (primavera/verão).

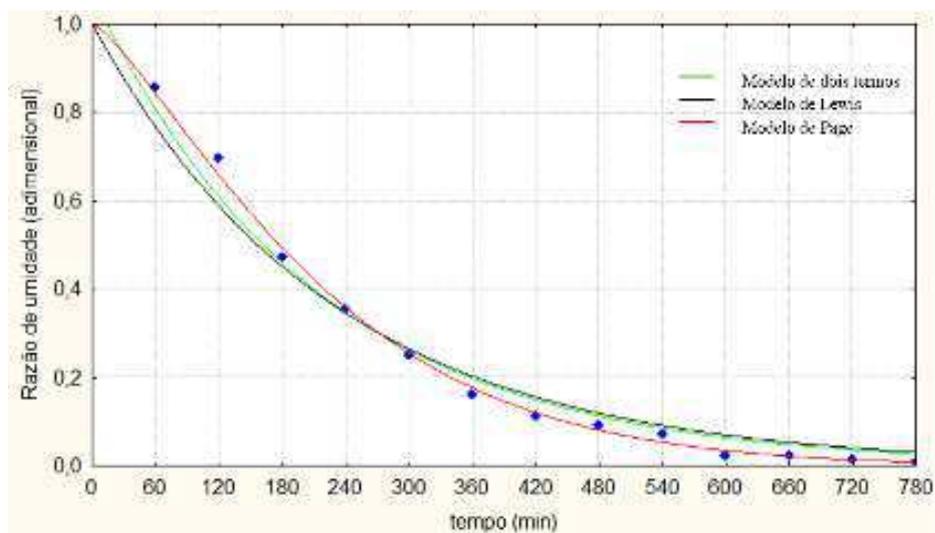


Figura 4.85: Cinética de secagem de abacaxi no SSII, em Campina Grande (primavera/verão).

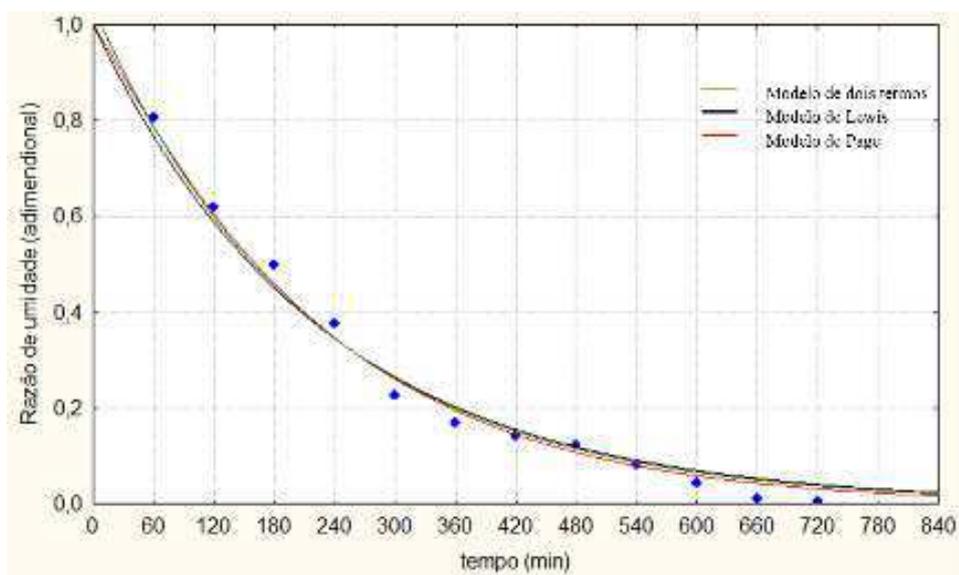


Figura 4.86: Cinética de secagem de abacaxi no SSIII, em Campina Grande (primavera/verão).

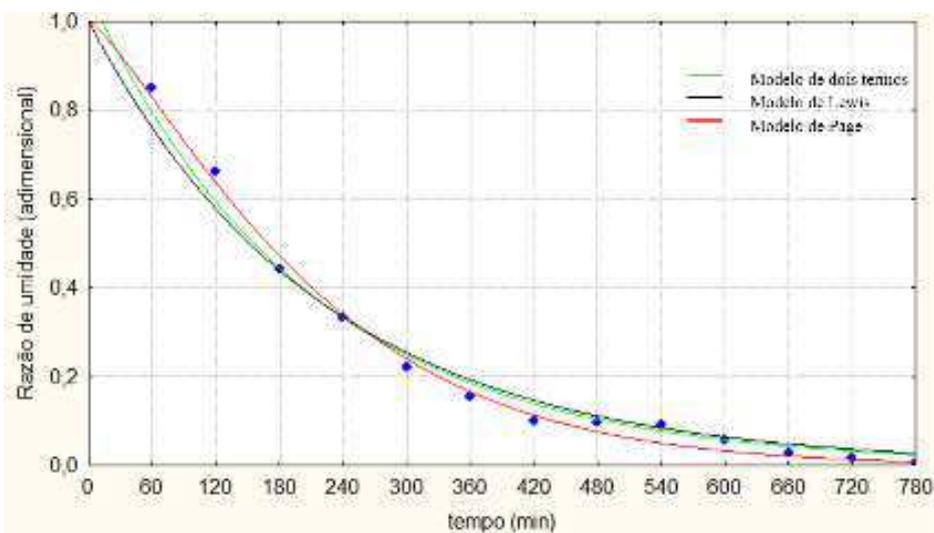
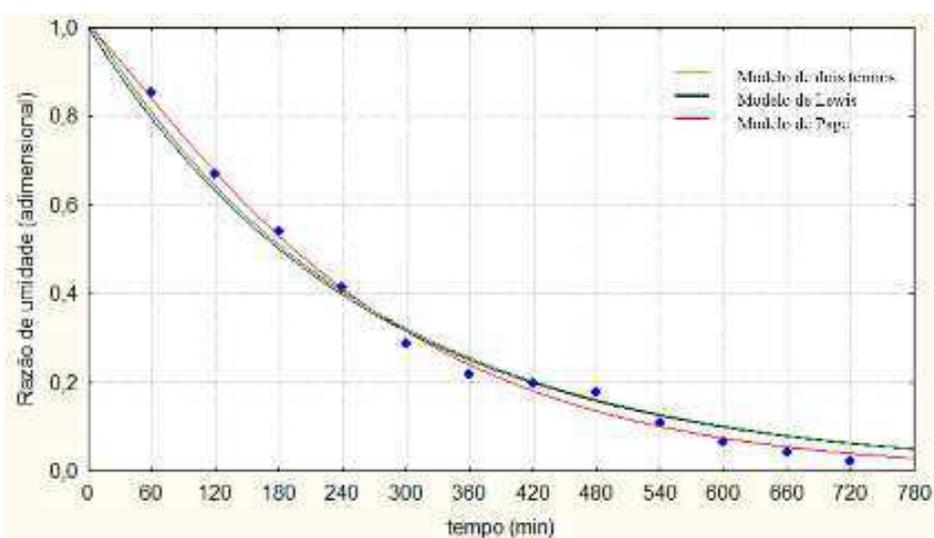


Figura 4.87: Cinética de secagem de abacaxi no SSIV, em Campina Grande (primavera/verão).



Em todas as de cinéticas de secagem apresentadas, observou-se assim como Moscon et al. (2017), Vieira (2018) e Gomes (2021), que a razão de umidade sofre uma redução acentuada no início do processo de secagem e, quando está próxima do teor de equilíbrio, torna-se parcialmente constante.

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que os sistemas de secagem desenvolvidos são capazes de utilizar a energia solar térmica para aquecer o ar ambiente, reduzir a umidade relativa do ar e secar fatias de abacaxi.

O sistema de medição e aquisição de dados (SMAD) desenvolvido foi capaz de medir e registrar os dados de temperatura e umidade relativa do ar.

Com a realização de testes experimentais em Petrolina e Campina Grande em períodos que contemplam condições meteorológicas distintas, pode-se inferir que a utilização da sílica gel é relevante para a redução no tempo de secagem. Os menores tempos de secagem para que as amostras atingissem teor de umidade em base úmida de 25% foram registrados no sistema de secagem com cobertura plana e com unidade dessecante.

O resultado supracitado foi justificado, estatisticamente, pelo planejamento experimental fatorial realizado. O arranjo que apresentou melhor desempenho em relação à redução no tempo de secagem, nas duas cidades durante o outono/inverno e primavera/verão, foi o sistema de secagem com cobertura plana e com unidade dessecante.

A partir da avaliação dos rendimentos térmicos, o período em que os sistemas de secagem apresentam um maior rendimento térmico é, em geral, entre as 11 h e 14 h. Nesse período, registra-se maiores valores para a temperatura do ar e menores valores para a umidade relativa do ar.

Em geral, o sistema de secagem com cobertura plana e com unidade dessecante apresentou maiores médias para o rendimento térmico, exceto em Petrolina durante o outono inverno. As maiores médias para o rendimento térmico foram 47,91% no SSIV em Petrolina, e 47,73% no SSII em Campina Grande (no outono/inverno); e 46,13% em Petrolina no SSII, e 43,73% no SSII em Campina Grande (na primavera/verão).

Dentre os modelos propostos neste trabalho, em geral, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais obtidos durante a secagem do abacaxi, apresentando coeficientes de correlação maiores do que 97,37% no sistema de secagem com cobertura plana e maiores do que 99,03% no sistema com cobertura convexa, comprovando que o modelo empírico de Page é aceitável para prever o tempo necessário para secagem do abacaxi.

Por meio da análise da carta psicométrica, com os principais estados termodinâmicos do ar nos sistemas de secagem, foi possível notar a relevância da utilização da unidade dessecante na redução significativa da umidade relativa do ar e de um incremento na temperatura do ar nas duas cidades. Ao avaliar, exclusivamente, a geometria da cobertura na carta psicométrica durante a primavera/verão é possível afirmar que não há uma relevância significativa nas condições psicométricas do ar.

Para trabalhos futuros sugere-se: realizar testes com a carga máxima do equipamento e avaliar a influência no rendimento do equipamento; realizar a análise sensorial do abacaxi seco e analisar a sua aceitabilidade no mercado; realizar a simulação computacional para a distribuição do teor de umidade e temperatura no interior das fatias de abacaxi; e determinar as cinéticas de difusão para a secagem das fatias de abacaxi.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, S. H.; ASSADI, M. K.; AL-KAYIEM, H. H.; GITAN, A. *A comparative analysis on the uniformity enhancement methods of solar thermal drying. Energy*, v.148, p.1103–1115, 2018.

ABF. **Anuário Brasileiro de Fruticultura**. Santa Cruz do Sul, RS: Editora Gazeta. 104 p. 2018.

ALONGE, A. F.; UDUAK, U. S. *Development of a direct active solar dryer and its use in drying Chester leaves (Heinsia crinita). Journal of Agricultural Engineering and Technology*, v.22, n.4, p.110–120, 2014.

ANANNO, A. A.; MASUD, M. H., DABNICHKI, P.; AHMED, A. *Design and numerical analysis of a hybrid geothermal PCM flat plate solar collector dryer for developing countries. Solar Energy*, v. 196, p.270–286, 2020.

AMORIM, Joselma Araújo. **Estudo teórico e experimental do calor específico e da cinética de sorção em reator fixo**. 2012. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba, UFPB. João Pessoa, PB, 2012.

AMPARO, K. K. S.; RIBEIRO, M. C. O. R.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.17, n.4, p.195–209, 2012.

ARABHOSSEINI, A., SAMIMI-AKHIJAHANI, H., MOTEHAYYER, M. *Increasing the energy and exergy efficiencies of a collector using porous and recycling system. Renew Energy*, v.132, p.308–325, 2019.

BAIA, R. T.; ALMEIDA, L. P.; MORENO, S. de O.; SILVA, L. de A. da; RODRIGUES, W. da L. Estudo da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do barbatimão (*Stryphodendron asdtringns*). *Chemical Engineering Proceedings*, v.1, n.1, p.1836–1841, 2015.

BASUNIA, M.; ABE, T. *Thin layer solar drying characteristic of rough rice under natural convection*. *Journal Food Engineering*, v.47, p.295–301, 2001.

BRAGA, B.; ZATORRE, N.; SANTOS, G.; CASTRO, P. Uma Visão da Agricultura Familiar no Município de Seropédica. *Cadernos de Agroecologia*, v.10, n.1, 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira do Exercício 2015**. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. **Resolução RDC nº 272/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis. Brasília, DF: Diário Oficial, 23 de set. 2005.

CARAMALHO, Alberto. **25 anos em Termografia**. 1 ed. Portugal, 474p, Bubok, 2012.

CAVALCANTI-MATA, Mario Eduardo Rangel Moreira. **Teoria e simulação de secagem de grãos e sementes**. Pesquisa Institucional. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 180p. 2018.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 49 p. 2010.

CHRAMSA-ARD, W.; JINDARUKSA, S.; SIRISUMPUNWONG, C.; SONSAREE, S. *Performance evaluation of the desiccant bed solar dryer. Energy Procedia*. v. 34, p.189–197, 2013.

CHABANE, F., MOUMMI, N., BRIMA, A. *An experimental study and mathematical modeling of solar drying of moisture content of the mint, apricot, and green pepper. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, p.1–15, 2019.

COELHO, B. E. M.; SILVA, L.F.M.; NOVAES, M. S. S.; SOUSA, K. S. M.; MACHADO, N.S. Cinética de secagem da manga ‘Tommy Aktins’ em secador solar de baixo custo e com convecção forçada de ar. *In: Congresso Técnico da Engenharia e Agronomia (CONTECC)*. 2018, Maceió. **Anais...** Maceió, AL, 2018.

COELHO, G. M.; COELHO, D. M. S. **Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais**. Rio de Janeiro: INT, 2003.

COSTA, N. L.; GOMES, I. A.; MENEZES, de M. H.; FERNANDES, J. F. S.; GRILO, M. B. Utilização de secador solar para produtos alimentícios: uma prospecção tecnológica. *In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*. 2020, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE, 2020.

CRESESB. **Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Salvo Brito**. Disponível em < www.cresesb.cepel.br>. Acesso em 18 de junho de 2021.

CROTTO, P.; RAMPINELLI, G. A. Estimativas das componentes direta e difusa da radiação solar em superfície horizontal para Araranguá/SC a partir de redes meteorológicas. *In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*, Gramado, 2018. **Anais...**, Gramado, RS 2018.

DINA, S. F.; AMBARITA, H.; NAPITULUPU, F. H.; KAWAI, H. *Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans*. Elsevier. *Case studies in thermal Engineering*, v.5, p.32–40, 2015.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. Abacaxi: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** 2 ed. Brasília, DF, 2013. Disponível em <<https://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000025-ebook-pdf.pdf>>. Acesso em 16 de agosto de 2021.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária **Cultivo do Abacaxi em Rondônia. Porto Velho, 2005.** Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Abacaxi/CultivodoAbacaxiRO/index.htm>>. Acesso em 29 de outubro de 2020.

FALCÃO FILHO, Ronaldo dos Santos. **Produção de passas de talo de abacaxi pérola por processo osmo-solar.** 2011, 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, PB, 2011.

FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Countries / Production Quantily / Pineapples.* 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 01 set. 2020.

_____. *Statistic division.* 2019. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faosta/tgateway/go/to/browse/Q/QC/E>>. Acesso em 26 de set. 2020.

FARIAS, Raimundo Pereira. **Secagem de banana em estufa: efeitos térmicos e geométricos.** 2011. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2011.

FERNANDES, Jonas Fernando de Souza. **Desenvolvimento experimental de um secador solar especial com sílica gel como dessecante do ar de secagem.** 2021, 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2021.

FONSECA, Cristino Mandinga Bomfim. **Desidratação de Jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) de São Tomé e Príncipe: Análise Físico-Química de Amostras Frescas e Desidratadas**. 2016. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agronômica – Agronomia Tropical). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

GERMER, S. P. M.; QUEIROZ, M. R.; GASPARINO-FILHO, J.; CAVICHIOLO, J. R.; AGUIRRE, J. M. Viabilidade Econômica de uma Unidade Produtora de Frutas Desidratadas por Processo Osmótico. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.42, n.05, p.20–35, 2012.

GOMES, Ítalo de Andrade; GRILO, Marcelo Bezerra. **Secador solar de frutas: Análise experimental de um modelo multienergético**. Editora da Novas Edições Acadêmicas, 149 p, 2017.

GOMES, Ítalo de Andrade. **Dimensionamento e otimização de um secador solar de frutas utilizando o método do planejamento experimental fatorial**. 2021. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2021.

GOMES, Ítalo de Andrade; GRILO, Marcelo Bezerra. Utilização de um Secador Solar de Frutas com Aproveitamento Multienergético na Desidratação de Abacaxi. *In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)*, 2015, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza, CE, p.1-4, 2015.

GRILO, M. B.; LACERDA, A. F. **Secador Solar: Cartilha para produção de banana-passa**. Campina Grande, PB. Editora da EDUFCG, 10p, 2013.

GRILO, M. B.; LEITE, A. P. F.; ANDRADE, R. R. D.; BELO, F. A.; MEUNIER, F. *Experimental thermodynamic cycles and performance analysis of a solar powered adsorptive icemaker in hot humid climate*. **Renewable Energy**, v.32, p.697-712, 2007.

GRILO, Marcelo Bezerra. **Fundamentos da energia solar: radiação solar e coletor solar plano conceitos básicos e aplicações**. Campina Grande, PB: Editora da UFCG, 60p, 2007.

GUIMARÃES, Leonardo Durval Duarte. **Agroecologia e educação agrícola: alternativa sustentável para agricultura familiar no município de Seropédica**. 2011, 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, RJ, 2011.

HARRIMAN III, Lewis. G. *The Dehumidification Handbook*, 2 ed. Massachusetts: Mutters Corporation, 2002.

HODALI, Riyad; BOUGARD, Jacques. *Integration of a desiccant unit in crops solar drying installation: optimization by numerical simulation*. Elsevier. *Energy Conversion and Management*, v.42, p.1543–1558, 2001.

HOFISKY, A. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.640–646, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, RJ, v.30, n.12, 112 p. 2017.

_____. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Instituto Adolfo Lutz, Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 1020 p, 2018.

_____. **Tabelas de composição de alimentos**. 2015. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/>> . Acesso em 29 de outubro de 2020.

IMRE, László. *Solar drying*. In: MUJUMDAR, A.S. (Ed.) *Handbook of industrial drying*, 4th ed. Boca Raton: CRC Press, chap. 14, p.303-350, 2015.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6ª ed., Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos, S.A. 2008.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Data Base 2018. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 14 de novembro de 2020.

ISLAM, M. K.; ISLAM S.; BEGUM, N.N.; UDDIN K.Z. *Fabrication and performance study of a direct type solar dryer*. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, v.9, n.2, p.565–569, 2018.

ISLAM, M.; ISLAM, M. I.; TUSAR, M.; LIMON, A. H. *Effect of cover design on moisture removal rate of a cabinet type solar dryer for food drying application*. *Energy Procedia*, v. 160, p. 769-776, 2019.

JACOB FILHO, Pedro. **Estudo do rendimento térmico de um aquecedor solar parabólico redondo para a viabilidade do uso comercial e residencial**. 2016. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de São Paulo, UNESP, Guaratinguetá, SP, 2016.

KOPF, Cristiane. **Técnicas de Processamento de Frutas para Agricultura Familiar**. Boletim Técnico. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, PR. 59p. 2008.

KRANG, E. G.; ONWE, D. N.; ONDA, D. O. *Development of a direct passive solar dryer for crayfish (*Procambarus clarkii*)*. *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, v.4, n.2, p.153–164, 2015.

KUMAR, M.; SANSANIWAL, S. K.; HHATARK, P. *Progress in solar dryers for drying various commodities. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.55, p.346–360, 2016.

KUMAR, Pradeep; e SINGH, Dheerandra.. *Advanced technologies and performance investigations of solar dryers: A review. Renewable Energy Focus*, v. 35, p.148–158, 2020.

LIMA, A. G. B.; SILVA, E. G.; SPAROVEK, G.; STURION, G. L.; PRECOPPE, M. F. M.; MEIRA M. L. R.; SPOTO, M. H. F.; MORAES, S. O. **Manual de desidratção solar de frutas, ervas e hortaliças**. Série Produtor Rural, n.33. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, USP, 50p, 2006.

LIMA, Antonio Gilson Barbosa. **Fenômeno de Difusão em Sólidos Esferoidais Prolatos. Estudo de caso: secagem de banana**. 1999. 265p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. Campinas, SP, 1999.

LIMA, Wellington Sousa. **Análises de Sistemas de Secagem: Solar, Elétrico e Misto na Produção de Banana Passa**. 2017, 259 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2017.

MACHADO, A. M.; SOUZA, M. C.; JUNQUEIRA, M. S.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinéticas de Secagem do Abacaxi CV. Pérola. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p.428-427, Goiânia, 2012.

MACÍAS-GANCHOZO, E. R.; BELLO-MOREIRA I. P.; TRUEBA-MACÍAS, S. L.; ANCHUNDIA-MUENTES, X. E.; ANCHUNDIA-MUENTES, M. E.; BRAVO-MOREIRA C. D. *Design, development and performance of solar dryer for pineapple (Ananas comosus (L.) Merr.), mamey (Mammea americana L.) and banana (Musa paradisiaca L.) fruit drying. Acta Agronómica*, v.67, n.1, p30–38, 2018.

MELO, A. P. C.; RYBKA, A. C. P.; FREITAS, S. T.; BIASOTO, A. C. T.; NASSUR, R. C. M. R. Influência de métodos de secagem na qualidade de uvas passa produzidas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.20, n.2, p.103–110, 2018.

MELO, Caio Tácito Miranda Castro Bezerra. **Desenvolvimento e Estudo Experimental de um Secador Solar Aplicado na Secagem de Banana**. 2016. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2016.

MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P.R.M.; BORES, C. K.; GOMES FILHO, M. F. Caracterização e classificação climática da cidade de Campina Grande-PB. *In*: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2014, Teresina, **Anais...**, Teresina- PI, 2014.

MISHA, S.; MAT, S.; RUSLAN, M. H.; SOPIAN, K. *Review of solid/liquid desiccant in the drying applications and its regeneration methods*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, n.7, p.4686–4707, 2015.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments**. 9^a ed., New York: Ed. John Wiley & Sons, 752p. 2017.

MORAIS, D. Y. M. N.; Neto, A. F.; Junior, J. C. F. M.; COSTA, J. D. S.; COSTA, M. S.; ALENCAR, C. H. F. Viabilidade técnica de secador solar no contexto do semiárido Brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.2, p.1036–1045, 2019.

MUSTAYEN, A. G. M. B.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. *Performance study of different solar dryers: A review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 463–470, 2014.

MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, R. C.; DEVILLA, I. A.; JUNIOR, F. R. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium Quinoa W.*). **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.4, p.318–328, 2017.

NUNES, A. G.; GOMES, I. A.; JÚNIOR, J. J. S.; GRILO, M.B. Estudo para determinação do modelo representativo de experimentos com secagem de banana usando energia solar e gás liquefeito de petróleo. **Revista Magistra**, v.25, Ilhéus, Ba, 2013.

NUNES, Antonio Gomes. **Desenvolvimento experimental de um secador solar multienergético para a secagem de frutas**. 2016, 198p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2016.

OLIVEIRA, L. C. T. G.; PAES, J. L.; GUIMARÃES, C. L. Avaliação da eficiência do coletor solar plano acoplado em secador híbrido. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS). 2018, Gramado. **Anais...** Gramado, RS, 2018.

PARIKH, D; AGRAWAL, G. *Solar drying in hot and dry climate of Jaipur*. **Journal Renewable Energy**, v.1, n.4, p.224–31, 2011.

PARK, K. J.; COLATO, G. A.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 2007.

PEREIRA, E. M. D.; DUARTE, L. O.; PEREIRA, L. T.; FARIA, C. F. C. Energia Solar Térmica. In: **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, p.239–280, 2003.

PEREIRA, E. M.; COSTA R. S.; LIMA, F. S. ; ABREU S. L.; PEREIRA, S. V.; MARTINS, F. S.; GONÇALVES, A. R.; RUTHER, R.; TIELPO, E. M.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição. São José dos Campos, SP, 2017.

QUINTERO, Alfredo Cardoso Fernandez. **Desidratação de abacaxi: modelos de secagem, avaliação de qualidade e efeito de embalagem**. 2007. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG, 2007.

RODRIGES, F.G.F.; BRIZOLA, A. Radiação de baixa frequência e possível influência nociva a sistemas biológicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.41, n.3, São Paulo, SP, 2019.

RODRIGUES, F.; MARFIL, P.H.M. Efeito do tratamento osmótico nas propriedades mecânicas de fatias de abacaxi (*Ananas comosus*) desidratadas em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v.5, n.2, p.87–97, 2020.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. 4ª ed., São Paulo, SP: Cárita, 2014.

SANUSI, Y.; AJADI, D.; ADEYEMO, I. *Comparative study of performance of open, direct and indirect solar dryer in drying tomatoes*. **Int. Journal of Current Engineering and Technology**, v.3, n.2, p.637–645, 2013.

SARPONG, F.; YU, X., ZHOU, C.; AMENORFE, L. P.; BAI, J., WU, B. H. *The kinetics and thermodynamics study of bioactive compounds and antioxidant degradation of dried banana (*Musa ssp.*) slices using controlled humidity convective air drying*. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 2, p.1935–1946, 2018.

SEAD .Secretária Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário, 2017. **Plano Safra da Agricultura Familiar**. Brasília, DF, 2017/2020.

SHANMUGAM, V.; NATARAJAN, E. *Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with reflective mirror*. **Applied Thermal Engineering**, v.27, p.1543–1551. 2006.

SILVEIRA, Luciano Roberto. **Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistema de armazenagem de energia térmica**. 2016. 61 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP/ESALQ, Piracicaba, SP, 2016.

SONDA. **Sistema de organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em <<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/petrolina.html>>. Acesso em 20 de março de 2021.

SOUZA, L. G. M.; DOÇBS, T. S.; VIEIRA, A. P. N. B.; BRITO, A. M. L.; MARQUES, M. S.; BATISTA, S. S. Construção de um secador solar a partir de sucatas de tambor de lixo..*In*: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM). 2012, São Luiz. **Anais...** São Luís, MA, 2012.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA-UNICAMP, FINEP, 4 ed. Campinas, SP. 161p. 2011.

TEFERA A.; ENDALEW W.; FIKIRU B. *Evaluation and demonstration of direct solar potato dryer*. **Livestock Research for Rural Development**, v. 25, n.12, 2013.

TIBA, Chiguero. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 111p. 2000.

TORO, J. D. N.; RUSCHEL, C. S.; KRENZINGER, A. Estudo da transmitância do policarbonato alveolar em diferentes ângulos de incidência para a cobertura de um coletor solar passivo. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.6, n.1, p.11–18, 2015.

VIEIRA, A. F. ; DA SILVA, L.P.F.R.; COSTA, Z.R.T.; ALMEIDA, R. D.; ROCHA, A.P.T.; Modelagem Matemática de cinética de secagem de abacaxi desidratado. *In*: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC).2018. Macéio. **Anais...** Maceió, Al 2018.

APÊNDICE

APÊNDICE A- Dados dos experimentos realizados no outono/inverno

Tabela A1: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos dias 25 e 26/03/21 em Petrolina.

HORA	ENTRADA SSI		SAÍDA SSI		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	25,57	56,02	37,33	38,57	35,97	43,03	44,93	37,90
[09:00, 10:00[	27,16	50,32	51,94	26,40	41,98	37,37	56,12	30,38
[10:00, 11:00[	28,61	40,69	67,83	19,20	49,04	30,09	71,77	23,99
[11:00, 12:00[	30,29	39,22	89,18	16,00	55,85	26,87	92,64	20,82
[12:00, 13:00[	31,49	36,36	89,66	15,71	53,83	26,93	92,45	20,05
[13:00, 14:00[	32,46	32,2	84,38	15,94	52,24	27,08	88,85	20,04
[14:00, 15:00[	33,35	31,42	77,49	16,33	48,32	28,22	78,48	20,31
[15:00, 16:00[	33,2	31,04	57,88	18,71	41,72	31,65	57,74	22,67
[16:00, 17:00[	32,96	30,35	48,14	21,62	38,66	34,14	48,24	25,24
[08:00, 09:00[	23,96	60,14	38,22	34,52	32,40	44,67	41,41	36,41
[09:00, 10:00[	25,42	52,83	52,35	23,48	37,31	39,46	54,69	27,06
[10:00, 11:00[	26,81	47,91	63,89	19,10	41,80	35,09	66,20	23,01
[11:00, 12:00[	28,4	38,56	80,89	16,44	48,54	29,74	84,07	20,85
[12:00, 13:00[	29,96	34,99	80,70	15,83	47,39	29,23	82,64	20,23
[13:00, 14:00[	31,44	32,28	80,14	15,80	48,30	28,59	85,14	20,12
[14:00, 15:00[	32,11	29,4	73,93	16,16	45,56	29,20	76,23	20,23
[15:00, 16:00[	32,38	31,03	57,88	18,71	41,72	31,65	57,74	22,67
Média	25,57	39,69	37,33	20,50	35,97	32,53	44,93	24,23

Tabela A2: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 25 e 26/03/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSI							SSII						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	32,2	39,56	71,76	9,89	0,862	6,257	1,0000	36,61	39,15	75,76	10,44	0,862	6,257	1,000
60	26,29	34,34	60,63	9,89	0,837	5,130	0,8188	33,58	34,4	67,98	10,44	0,846	5,511	0,880
120	24,37	29,12	53,49	9,89	0,815	4,408	0,7027	24,79	25,28	50,07	10,44	0,791	3,796	0,603
180	19,25	26,89	46,14	9,89	0,786	3,665	0,5832	18,44	18,73	37,17	10,44	0,719	2,560	0,403
240	17,41	19,61	37,02	9,89	0,733	2,743	0,3665	13,05	13,39	26,44	10,44	0,605	1,533	0,238
300	15,7	17,11	32,81	9,89	0,699	2,317	0,3665	11,58	12,11	23,69	10,44	0,559	1,269	0,195
360	11,67	13,86	25,53	9,89	0,613	1,581	0,2481	9,55	10,78	20,33	10,44	0,486	0,947	0,143
420	8,39	11,35	19,74	9,89	0,499	0,996	0,1540	7,69	8,99	16,68	10,44	0,374	0,598	0,087
480	6,59	9,35	15,94	9,89	0,380	0,612	0,0922	6,74	7,66	14,4	10,44	0,275	0,379	0,051
540	5,89	8,63	14,52	9,89	0,319	0,468	0,0691	6,47	6,66	13,13	10,44	0,205	0,258	0,032
600	5,28	7,83	13,11	9,89	0,246	0,326	0,046	5,5	5,57	11,07	10,44	0,057	0,060	0,001

Tabela A3: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos dias 13 e 14/04/21 em Petrolina.

HORA	ENTRADA SSIII		SAÍDA SSIII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	25,82	60,36	38,83	41,43	33,42	40,80	49,04	35,62
[09:00, 10:00[	27,56	55,85	62,55	24,07	42,5	36,50	65,38	26,21
[10:00, 11:00[	29,17	48,20	77,94	18,78	47,36	32,65	78,09	22,93
[11:00, 12:00[	30,73	42,90	85,21	16,93	50,18	30,02	85,43	21,43
[12:00, 13:00[	31,83	38,82	82,4	16,10	52,93	30,65	84,4	21,19
[13:00, 14:00[	33,03	34,38	84,05	16,90	52,75	27,91	92,78	20,12
[14:00, 15:00[	34,16	31,79	87,5	15,91	49,86	27,64	88,2	20,04
[15:00, 16:00[	34,45	29,34	74,17	16,00	48,31	27,95	80,99	20,38
[16:00, 17:00[	34,65	29,33	61,38	17,39	42,7	30,66	63,55	21,97
[08:00, 09:00[	25,7	64,06	41,78	34,82	33,29	47,38	44,69	39,48
[09:00, 10:00[	26,51	58,21	76,21	22,74	39,13	40,63	58,2	26,34
[10:00, 11:00[	28,38	44,59	72,91	17,42	48,52	32,16	79,82	21,85
[11:00, 12:00[	30,78	38,38	74,59	16,32	48,12	30,12	79,79	21,16
[12:00, 13:00[	31,02	39,65	62,45	16,11	49,24	30,31	78,67	21,11
[13:00, 14:00[	31,05	39,61	56,46	17,45	43,22	32,20	64,82	22,45
[14:00, 15:00[	31,84	39,07	66,17	19,20	41,32	33,97	58,05	24,04
[15:00, 16:00[	32,08	36,72	67,91	17,67	44,15	32,25	68,24	22,36
Média	30,32	43,70	69,23	20,56	45,44	33,17	72,92	24,15

Tabela A4: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 13 e 14/ 04/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSIII							SSIV						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	50,17	51,81	101,98	14,14	0,861	6,210	1,000	52	47	99	13,73	0,861	6,210	1,000
60	45,91	48,27	94,18	14,14	0,850	5,661	0,910	47,79	41,55	89,34	13,73	0,846	5,507	0,886
120	38,3	40,92	79,22	14,14	0,822	4,603	0,738	40,2	34,54	74,74	13,73	0,816	4,444	0,712
180	30,38	33,83	64,21	14,14	0,780	3,541	0,565	31,79	28,08	59,87	13,73	0,771	3,361	0,536
240	24,08	27,67	51,75	14,14	0,727	2,660	0,421	25,52	22,76	48,28	13,73	0,716	2,516	0,399
300	17,75	21,26	39,01	14,14	0,638	1,759	0,274	19,28	17,33	36,61	13,73	0,625	1,666	0,260
360	14,52	17,64	32,16	14,14	0,560	1,274	0,195	15,13	13,91	29,04	13,73	0,527	1,115	0,170
420	11,81	14,18	25,99	14,14	0,456	0,838	0,124	12,67	11,44	24,11	13,73	0,431	0,756	0,112
480	11,78	13,14	24,92	14,14	0,433	0,762	0,111	12,1	10,92	23,02	13,73	0,404	0,677	0,099
540	11,32	11,67	22,99	14,14	0,385	0,626	0,089	11,89	10,9	22,79	13,73	0,398	0,660	0,096
600	10,56	11,27	21,83	14,14	0,352	0,544	0,076	11,64	10,12	21,76	13,73	0,369	0,585	0,084
660	9,26	11,02	20,28	14,14	0,303	0,434	0,058	11,54	10,13	21,67	13,73	0,366	0,578	0,083
720	8,61	10,48	19,09	14,14	0,259	0,350	0,044	9,58	8,29	17,87	13,73	0,232	0,302	0,038
780	8,61	9,00	17,61	14,14	0,197	0,245	0,027	9,48	8,18	17,66	13,73	0,223	0,286	0,035

Tabela A5: Temperatura e umidade relativa do durante a realização do experimento nos dias 16 e 17/04/21 em Petrolina.

HORA	ENTRADA SSI		SAÍDA SSI		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	24,02	64,91	39,55	38,48	28,37	43,16	46,01	38,07
[09:00, 10:00[	25,27	57,08	54,15	26,67	28,31	39,12	56,05	28,53
[10:00, 11:00[	27,11	47,71	74,15	19,11	30,06	33,26	75,40	23,43
[11:00, 12:00[	28,93	42,56	85,86	17,07	29,14	30,66	83,32	21,77
[12:00, 13:00[	30,20	41,66	94,90	16,11	46,91	30,43	86,38	21,02
[13:00, 14:00[	31,05	40,19	79,91	16,65	46,21	30,42	82,57	21,18
[14:00, 15:00[	31,31	34,84	88,47	16,05	46,58	29,89	85,06	20,53
[15:00, 16:00[	31,98	36,28	70,04	17,27	41,65	32,64	66,67	21,80
[16:00, 17:00[	32,00	34,50	55,64	20,39	38,27	35,96	52,56	24,75
[08:00, 09:00[	24,32	62,96	39,08	36,70	33,39	44,96	41,66	40,44
[09:00, 10:00[	26,21	57,52	53,95	24,19	37,77	41,04	53,37	28,49
[10:00, 11:00[	27,16	49,87	65,76	19,79	41,46	37,33	63,96	24,63
[11:00, 12:00[	28,42	47,36	66,05	19,72	41,55	37,24	64,19	24,57
[12:00, 13:00[	29,56	43,51	66,33	19,64	41,64	37,15	64,43	24,51
[13:00, 14:00[	30,92	40,90	66,61	19,56	41,73	37,05	64,68	24,45
[14:00, 15:00[	30,72	40,13	66,91	19,49	41,82	36,96	64,95	24,39
[15:00, 16:00[	30,83	39,40	67,22	19,41	41,92	36,87	65,23	24,32
Média	28,30	47,51	66,79	22,37	37,34	35,74	66,08	26,22

Tabela A6: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 16 e 17/ 04/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSI					SSII				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	52	44,43	96,43	14,29	0,8518	48,16	46,8	94,96	14,07	0,8518
60	48,68	40,63	89,31	14,29	0,8400	44,58	40,9	85,48	14,07	0,8354
120	42,83	35	77,83	14,29	0,8164	38,59	34,48	73,07	14,07	0,8074
180	32,37	25,85	58,22	14,29	0,7546	28,63	24,76	53,39	14,07	0,7365
240	26,72	19,18	45,9	14,29	0,6887	22,47	18,62	41,09	14,07	0,6576
300	17	12,9	29,9	14,29	0,5221	16	12,86	28,86	14,07	0,5125
360	13,25	11,34	24,59	14,29	0,4189	12,08	11,22	23,3	14,07	0,3961
420	12,64	9,36	22,00	14,29	0,3505	11,73	10,09	21,82	14,07	0,3552
480	11,31	8,39	19,7	14,29	0,2746	10,21	9,34	19,55	14,07	0,2803
540	11,15	8,22	19,37	14,29	0,2623	9,36	9,32	18,68	14,07	0,2468
600	10,67	7,87	18,54	14,29	0,2292	9	9,16	18,16	14,07	0,2252
660	52	44,43	96,43	14,29	0,8518	48,16	46,8	94,96	14,07	0,8518
720	48,68	40,63	89,31	14,29	0,8400	44,58	40,9	85,48	14,07	0,8354

Tabela A7: Temperatura e umidade relativa do durante a realização do experimento nos dias 28 e 29 /04/21 em Petrolina.

HORA	ENTRADA SSIII		SAÍDA SSIII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	24,74	75,1	32,98	53,47	28,77	60,96	33,65	59,25
[09:00, 10:00[	25,68	63,25	47,95	33,58	34,62	48,97	49,26	37,70
[10:00, 11:00[	27,85	56,26	65,09	23,07	41,08	41,36	67,74	26,44
[11:00, 12:00[	28,77	51,93	75,77	19,22	44,17	36,30	78,46	23,07
[12:00, 13:00[	30,01	53,73	76,56	17,05	47,96	33,22	89,37	22,53
[13:00, 14:00[	30,97	48,86	91,11	16,48	48,89	30,50	92,81	20,52
[14:00, 15:00[	31,68	43,13	87,53	16,50	46,74	30,11	91,84	20,25
[15:00, 16:00[	31,98	42,53	79,12	16,92	43,29	31,15	83,08	21,11
[16:00, 17:00[	32,2	39,66	55,21	21,66	37,27	37,42	57,72	24,43
[08:00, 09:00[	25,25	69,66	39,27	44,40	33,39	47,75	48,20	38,89
[09:00, 10:00[	26,65	60,41	57,01	25,82	39,14	42,32	61,67	27,75
[10:00, 11:00[	28,1	55,58	68,72	20,24	42,43	37,90	72,53	23,61
[11:00, 12:00[	28,9	55,2	74,15	18,51	43,36	35,75	77,40	22,50
[12:00, 13:00[	30,1	49,01	77,74	17,84	43,73	36,04	71,77	23,17
[13:00, 14:00[	30,41	50,36	84,52	16,93	46,23	32,90	86,33	21,60
[14:00, 15:00[	31,3	43,64	80,67	17,72	46,47	35,17	83,77	21,72
[15:00, 16:00[	30,28	59,9	65,67	20,20	37,38	41,86	68,30	24,07
Média	28,66	55,01	64,69	25,70	40,65	39,83	68,86	28,79

Tabela A8: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 28 e 29/04/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSIII					SSIV				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	48,68	43,8	92,48	11,07	0,880	44,2	45,49	89,69	10,74	0,880
60	46,25	40,1	86,35	11,07	0,872	39,59	41,21	80,8	10,74	0,867
120	43,82	38,32	82,14	11,07	0,865	32,1	36,72	68,82	10,74	0,844
180	40,64	35,84	76,48	11,07	0,855	27,86	32,64	60,5	10,74	0,822
240	36,72	31,43	68,15	11,07	0,838	21,04	28,18	49,22	10,74	0,782
300	33,29	28,63	61,92	11,07	0,821	18,96	19,15	38,11	10,74	0,718
360	30,37	25,67	56,04	11,07	0,802	16,87	17,64	34,51	10,74	0,689
420	25,46	18,16	43,62	11,07	0,746	12,94	13,27	26,21	10,74	0,590
480	17,38	15,07	32,45	11,07	0,659	9,79	9,35	19,14	10,74	0,439
540	15,91	12,8	28,71	11,07	0,614	8,82	8,46	17,28	10,74	0,378
600	12,63	9,27	21,9	11,07	0,495	7,28	7,24	14,52	10,74	0,260
660	9,58	8,13	17,71	11,07	0,375	6,69	6,92	13,61	10,74	0,148
720	7,53	7,15	14,68	11,07	0,246	6,69	6,92	13,61	10,74	0,148

Tabela A9: Temperatura e umidade relativa do durante a realização do experimento nos dias 03, 04 e 06/05/21 em Campina Grande

HORA	ENTRADA SSIII		SAÍDA SSIII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[09:00, 10:00[	26,03	79,36	52,59	33,21	33,78	44,74	57,46	19,83
[10:00, 11:00[	27,14	70,96	58,66	26,96	35,97	40,47	68,03	13,26
[11:00, 12:00[	27,86	66,03	52,47	30,41	35,77	40,38	62,05	15,14
[12:00, 13:00[	27,93	65,42	53,48	29,54	36,18	40,38	63,27	14,31
[13:00, 14:00[	28,83	60,19	51,76	30,32	35,13	40,68	62,73	14,00
[14:00, 15:00[	27,27	73,63	48,95	34,20	34,03	42,43	65,22	15,82
[15:00, 16:00[	27,18	75,20	44,77	36,91	32,94	46,17	55,76	19,20
[16:00, 17:00[	24,86	93,26	35,52	50,10	30,96	50,47	43,76	25,77
[09:00, 10:00[	24,84	98,90	59,78	27,45	32,95	44,68	67,48	17,48
[10:00, 11:00[	25,71	97,50	46,02	36,92	32,71	45,06	55,10	20,85
[11:00, 12:00[	26,48	87,26	50,34	33,02	30,71	44,84	53,81	27,46
[12:00, 13:00[	23,86	99,34	47,86	34,47	28,61	56,94	50,14	28,90
[09:00, 10:00[	25,54	80,21	61,41	26,84	32,84	43,01	62,12	16,58
[10:00, 11:00[	27,14	70,96	55,04	27,75	32,80	45,11	62,14	15,01
[11:00, 12:00[	27,81	65,88	68,08	22,05	34,41	43,62	76,77	10,82
Média	26,57	78,94	52,45	44,60	33,32	44,06	60,39	18,30

Tabela A10: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 03,04 e 06/05/21 em Campina Grande.

Tempo de experimento (min)	SSIII							SSIV						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	57,27	63,68	120,95	16,78	0,861	6,210	1,000	55,17	61,29	116,46	16,15	0,861	6,210	1,000
60	48,23	56	104,23	16,78	0,839	5,212	0,838	46,61	52,37	98,98	16,15	0,837	5,129	0,825
120	41,52	48,7	90,22	16,78	0,814	4,377	0,702	40,31	44,68	84,99	16,15	0,810	4,263	0,685
180	35,17	41,86	77,03	16,78	0,782	3,591	0,575	34,6	38	72,6	16,15	0,778	3,495	0,560
240	31,7	37,18	68,88	16,78	0,756	3,105	0,496	30,6	33,31	63,91	16,15	0,747	2,957	0,473
300	27,15	32,38	59,53	16,78	0,718	2,548	0,405	24,3	25,78	50,08	16,15	0,678	2,101	0,335
360	24,03	29,77	53,8	16,78	0,688	2,206	0,350	23,47	25	48,47	16,15	0,667	2,001	0,318
420	22,42	27,73	50,15	16,78	0,665	1,989	0,315	21,88	23,09	44,97	16,15	0,641	1,785	0,283
480	17,89	20,37	38,26	16,78	0,561	1,280	0,199	16,87	17,64	34,51	16,15	0,532	1,137	0,178
540	14,87	18,52	33,39	16,78	0,497	0,990	0,152	14,12	15,34	29,46	16,15	0,452	0,824	0,128
600	13,58	17,92	31,5	16,78	0,467	0,877	0,134	11,26	13,41	24,67	16,15	0,345	0,528	0,080
660	11,13	13,19	24,32	16,78	0,310	0,449	0,065	10,21	10,94	21,15	16,15	0,236	0,310	0,044
720	10,37	11,25	21,62	16,78	0,224	0,288	0,038	8,87	9,59	18,46	16,15	0,125	0,143	0,017

Tabela A11: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos dias 08 e 10/05/21 em Campina Grande.

HORA	ENTRADA SSI		SAÍDA SSI		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[09:00, 10:00[	26,81	78,36	61,53	25,59	32,93	46,69	66,36	16,43
[10:00, 11:00[	27,98	68,99	55,04	35,11	32,80	37,75	65,14	25,01
[11:00, 12:00[	27,60	71,19	58,08	33,62	34,41	32,05	70,77	20,82
[12:00, 13:00[	28,99	63,32	62,97	29,65	35,03	29,73	84,25	19,04
[13:00, 14:00[	28,03	71,89	56,98	33,88	34,69	30,68	68,11	20,22
[14:00, 15:00[	26,83	76,50	50,01	44,73	33,73	42,44	67,43	22,87
[15:00, 16:00[	26,86	72,73	47,28	46,06	32,82	48,46	58,09	25,05
[16:00, 17:00[	25,89	82,53	40,46	46,82	29,06	50,05	56,03	28,36
[09:00, 10:00[	24,84	99,03	64,49	24,16	33,68	46,59	66,08	16,03
[10:00, 11:00[	26,20	88,96	66,00	22,86	33,36	47,69	70,00	14,47
[11:00, 12:00[	27,13	80,49	68,98	21,57	33,43	47,57	73,93	15,14
[12:00, 13:00[	27,41	79,64	58,18	26,05	32,31	50,94	65,33	16,05
[13:00, 14:00[	27,49	79,69	66,25	18,05	36,72	40,53	67,14	14,63
Média	27,08	77,95	58,17	31,40	33,46	42,40	67,59	19,55

Tabela A12: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 08 e 10/05/21 em Campina Grande.

Tempo de experimento (min)	SSI							SSII						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	64,5	60,6	125,1	16,58	0,868	6,547	1,000	65,4	59,2	124,6	16,51	0,868	6,547	1,000
60	52,9	47,3	100,2	16,58	0,835	5,043	0,764	54,8	48,2	103	16,51	0,840	5,239	0,797
120	37	37,5	74,5	16,58	0,777	3,493	0,520	43,6	37,5	81,1	16,51	0,796	3,912	0,590
180	35,6	32,3	67,9	16,58	0,756	3,095	0,458	37,5	31,4	68,9	16,51	0,760	3,173	0,475
240	27,6	24,9	52,5	16,58	0,684	2,166	0,312	28,9	23,9	52,8	16,51	0,687	2,198	0,324
300	24,2	21,9	46,1	16,58	0,640	1,780	0,251	25,6	20,9	46,5	16,51	0,645	1,816	0,264
360	22,5	20,1	42,6	16,58	0,611	1,569	0,218	23,5	18,6	42,1	16,51	0,608	1,550	0,223
420	21	18,9	39,9	16,58	0,584	1,407	0,192	22	17,5	39,5	16,51	0,582	1,392	0,199
480	17,8	16,5	34,3	16,58	0,517	1,069	0,139	21,4	16,3	37,7	16,51	0,562	1,283	0,182
540	16,1	14,9	31	16,58	0,465	0,870	0,108	17,6	13,6	31,2	16,51	0,471	0,890	0,120
600	13,2	13	26,2	16,58	0,367	0,580	0,062	13,8	10,7	24,5	16,51	0,326	0,484	0,057
660	12,5	12,1	24,6	16,58	0,326	0,484	0,047	11,4	9,3	20,7	16,51	0,202	0,254	0,044
720	10,9	10,3	21,2	16,58	0,218	0,279	0,015	10,6	8,6	19,2	16,51	0,140	0,143	0,017

Tabela A13: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos 25 e 27/08/21 em Campina Grande.

HORA	ENTRADA SSIII		SAÍDA SSIII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[10:00, 11:00[	25,00	96,40	64,08	26,03	33,68	46,59	64,49	24,16
[11:00, 12:00[	23,83	99,82	66,80	24,47	33,36	47,69	66,00	22,86
[12:00, 13:00[	25,72	86,31	73,93	32,14	33,43	47,57	68,98	21,57
[13:00, 14:00[	26,00	85,80	62,33	28,05	32,31	50,94	58,18	26,05
[14:00, 15:00[	25,96	83,16	72,83	25,43	33,99	47,54	72,23	20,16
[15:00, 16:00[	25,86	78,71	50,80	22,40	29,80	58,80	54,10	28,10
[16:00, 17:00[	24,65	91,02	45,65	25,45	29,35	57,15	44,95	34,30
[09:00, 10:00[	26,07	96,54	33,45	62,80	28,00	40,15	33,00	59,00
[10:00, 11:00[	26,43	68,48	60,49	36,68	29,71	35,05	58,28	32,12
[11:00, 12:00[	26,76	67,26	74,22	22,11	34,19	31,25	68,23	24,42
[12:00, 13:00[	27,95	71,24	71,90	22,51	34,28	32,55	67,03	24,64
[13:00, 14:00[	28,25	63,94	79,52	20,84	32,71	29,36	75,44	23,01
[14:00, 15:00[	28,82	57,72	70,64	22,29	30,98	30,10	68,29	23,55
[15:00, 16:00[	28,37	53,49	66,78	22,79	30,86	29,12	63,57	24,01
Média	26,41	80,49	63,82	28,55	31,90	42,67	61,63	28,00

Tabela A14: Dados referentes a variação de massa experimento realizado 25 e 27/08/21 em Campina Grande.

Tempo de experimento (min)	SSIII					SSIV				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_1 (g)	X_{bu}
0	49,66	48,79	98,45	10,83	0,890	48,67	48,12	96,79	10,65	0,890
60	43,14	41,23	84,37	10,83	0,872	43,15	40,33	83,48	10,65	0,872
120	38,27	32,46	70,73	10,83	0,847	37,62	31,09	68,71	10,65	0,845
180	31,1	26,75	57,85	10,83	0,813	29,44	23,58	53,02	10,65	0,799
240	27,82	24,26	52,08	10,83	0,792	25,36	19,72	45,08	10,65	0,764
300	25,42	20,11	45,53	10,83	0,762	22,7	16,00	38,7	10,65	0,725
360	21,81	16,36	38,17	10,83	0,716	19,00	12,69	31,69	10,65	0,664
420	20,46	14,92	35,38	10,83	0,694	17,27	11,24	28,51	10,65	0,626
480	19,09	14,47	33,56	10,83	0,677	16,40	10,88	27,28	10,65	0,610
540	13,79	11,82	25,61	10,83	0,577	10,71	7,77	18,48	10,65	0,424
600	11,75	8,42	20,17	10,83	0,463	8,75	7,21	15,96	10,65	0,333
660	9,25	6,71	15,96	10,83	0,321	7,15	7,00	14,15	10,65	0,247
720	8,43	6,40	14,83	10,83	0,270	6,00	7,00	13,00	10,65	0,181
780	7,11	6,00	13,11	10,83	0,174	5,68	7,00	12,68	10,65	0,160

Tabela A15: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento nos 30 e 31/08/21 em Campina Grande.

HORA	ENTRADA SSI		SAÍDA SSI		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[09:00, 10:00[	35,05	51,296	48,91	29,634	33,66	41,534	51,60	29,34
[10:00, 11:00[	28,51	58,05	76,73	20,87	38,64	32,77	74,87	24,32
[11:00, 12:00[	28,65	58,56	68,08	21,66	37,27	35,03	67,78	24,33
[12:00, 13:00[	27,20	67,84	54,56	24,59	33,59	41,33	55,78	26,71
[13:00, 14:00[	28,58	64,91	65,69	22,17	38,42	35,90	65,10	25,12
[14:00, 15:00[	29,57	60,24	72,23	20,52	37,95	36,24	71,35	23,51
[15:00, 16:00[	28,92	57,95	54,66	23,59	33,54	40,87	53,83	27,06
[16:00, 17:00[	27,14	64,57	38,15	33,33	29,39	49,35	36,71	39,24
[09:00, 10:00[	26,02	68,81	31,22	47,42	27,26	54,19	30,15	50,02
[10:00, 11:00[	25,99	75,22	59,26	27,15	34,98	37,20	58,30	32,89
[11:00, 12:00[	27,14	63,67	71,42	20,29	36,65	33,31	70,48	23,40
[12:00, 13:00[	28,59	56,23	76,83	19,36	39,45	29,98	77,58	21,75
[13:00, 14:00[	29,30	52,46	79,37	19,09	41,31	28,28	80,63	20,95
[14:00, 15:00[	29,98	50,42	77,14	19,39	40,53	28,72	78,90	21,05
[15:00, 16:00[	30,16	51,825	69,30	20,31	38,30	31,76	70,90	21,99
Média	28,72	60,13	62,90	24,62	36,06	37,10	62,93	27,44

Tabela A16: Dados referentes a variação de massa experimento realizado nos dias 30 e 31/08/21 em Campina Grande.

Tempo de experimento (min)	SSI					SSII				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	47,26	52,83	100,09	15,01	0,850	49	50	99	14,85	0,850
60	38,44	39,67	78,11	15,01	0,808	40	42,48	82,48	14,85	0,820
120	31,47	32,74	64,21	15,01	0,766	34	32,28	66,28	14,85	0,776
180	27,39	28,12	55,51	15,01	0,730	29,17	28,00	57,17	14,85	0,740
240	24,36	25	49,36	15,01	0,696	25,56	25,00	50,56	14,85	0,706
300	20,33	20,84	41,17	15,01	0,635	21,28	20,80	42,08	14,85	0,647
360	18,14	18,2	36,34	15,01	0,587	18,43	18,37	36,8	14,85	0,596
420	16,4	16,86	33,26	15,01	0,549	17,29	17,00	34,29	14,85	0,567
480	14,82	12,59	27,41	15,01	0,452	13,26	12,51	25,77	14,85	0,424
540	12,75	10,73	23,48	15,01	0,361	11,48	10,63	22,11	14,85	0,328
600	10,95	9,66	20,61	15,01	0,272	10,34	9,32	19,66	14,85	0,245
660	9,83	9,1	18,93	15,01	0,207	9,25	8,1	17,35	14,85	0,144

APÊNDICE B- Dados dos experimentos realizados na primavera/verão

Tabela B1: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 28/09/21 em Petrolina

HORA	AMBIENTE		SAÍDA SSI		SAÍDA SSIII	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[07:00, 08:00[	21,82	67,18	36,97	45,73	34,61	42,59
[08:00, 09:00[	23,64	56,67	43,74	36,63	45,53	30,69
[09:00, 10:00[	25,73	48,82	62,10	24,95	58,65	22,12
[10:00, 11:00[	27,63	38,63	77,59	20,96	69,50	18,62
[11:00, 12:00[	29,24	33,46	78,55	19,34	76,68	17,32
[12:00, 13:00[	30,65	31,36	82,29	18,66	79,76	16,86
[13:00, 14:00[	31,71	26,64	85,47	18,37	80,83	16,85
[14:00, 15:00[	32,78	24,08	80,36	18,23	76,95	16,92
[15:00, 16:00[	33,38	23,11	71,65	18,66	66,88	17,45
[16:00, 17:00[	33,43	24,25	49,26	22,75	45,72	22,39
Média	29,00	37,42	66,80	24,43	63,51	22,18

Tabela B2: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 28/09/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSI							SSII						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	48,42	50	98,42	13,48	0,863	6,299	1,000	49,29	48,86	98,15	13,45	0,863	6,299	1,000
60	44,45	46,78	91,23	13,48	0,852	5,768	0,913	44	42,64	86,64	13,45	0,845	5,442	0,859
120	36,39	38,8	75,19	13,48	0,821	4,578	0,719	36,71	35,11	71,82	13,45	0,813	4,340	0,678
180	27,46	29,45	56,91	13,48	0,763	3,222	0,498	28,69	37,24	65,93	13,45	0,796	3,902	0,606
240	19,29	22,31	41,6	13,48	0,676	2,086	0,313	20,46	28,14	48,6	13,45	0,723	2,613	0,394
300	15,72	17,72	33,44	13,48	0,597	1,481	0,214	17,28	22,53	39,81	13,45	0,662	1,960	0,286
360	12,09	13,49	25,58	13,48	0,473	0,898	0,119	13,36	18,09	31,45	13,45	0,572	1,338	0,184
420	8,27	9,46	17,73	13,48	0,240	0,315	0,024	8,44	14	22,44	13,45	0,401	0,668	0,074
480	7,81	9	16,81	13,48	0,198	0,247	0,013	8,2	10,69	18,89	13,45	0,288	0,404	0,030
540	7,52	8,83	16,35	13,48	0,176	0,213	0,008	8	9,7	17,7	13,45	0,240	0,316	0,016

Tabela B3: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 30/09/21 em Petrolina.

HORA	AMBIENTE		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[07:00, 08:00[	21,85	68,39	25,76	49,86	25,22	50,42	35,82	40,12	36,01	42,34
[08:00, 09:00[	22,82	64,20	29,10	48,25	29,00	53,48	38,75	38,13	39,43	43,94
[09:00, 10:00[	24,34	57,03	31,43	51,67	31,86	50,37	53,30	25,98	52,69	32,17
[10:00, 11:00[	26,54	51,05	34,83	46,10	35,26	46,10	73,57	19,70	70,96	23,69
[11:00, 12:00[	28,09	42,44	36,42	32,95	37,67	39,45	85,54	17,63	83,13	20,05
[12:00, 13:00[	29,92	37,32	38,10	35,23	38,10	36,57	92,20	16,77	90,20	17,84
[13:00, 14:00[	31,14	31,81	38,51	27,36	39,51	26,73	87,40	16,58	83,96	17,52
[14:00, 15:00[	32,16	30,88	41,82	26,72	40,75	26,24	86,61	16,56	84,48	17,52
[15:00, 16:00[	32,95	28,39	39,87	27,16	39,10	27,43	73,54	17,17	70,26	17,48
[16:00, 17:00[	32,81	27,71	35,95	25,12	36,15	25,73	53,10	20,85	50,34	19,40
Média	28,26	41,20	35,18	35,62	35,26	36,90	67,98	21,04	66,15	23,29

Tabela B4: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 30/09/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSI							SSII						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	47,72	53,24	100,96	13,53	0,866	6,463	1,000	45,27	55,45	100,72	13,50	0,866	6,463	1,000
60	42,56	49,23	91,79	13,53	0,853	5,784	0,893	40,69	50,14	90,83	13,50	0,851	5,728	0,884
120	38,45	46,2	84,65	13,53	0,840	5,256	0,810	35,49	49,24	84,73	13,50	0,841	5,276	0,812
180	30,21	38,04	68,25	13,53	0,802	4,044	0,618	28,18	40,36	68,54	13,50	0,803	4,077	0,622
240	23,81	30,63	54,44	13,53	0,751	3,024	0,457	22,31	33,73	56,04	13,50	0,759	3,151	0,475
300	13,83	19,2	33,03	13,53	0,590	1,441	0,208	13	21,85	34,85	13,50	0,613	1,581	0,226
360	9,56	13,47	23,03	13,53	0,413	0,702	0,091	9	16,23	25,23	13,50	0,465	0,869	0,113
420	7,78	10,16	17,94	13,53	0,246	0,326	0,032	7,39	12,34	19,73	13,50	0,316	0,461	0,048
480	7,37	9,3	16,67	13,53	0,188	0,232	0,017	7,11	10,77	17,88	13,50	0,245	0,324	0,027
540	7,35	9,21	16,56	13,53	0,183	0,224	0,015	7,11	10,36	17,47	13,50	0,227	0,294	0,022

Tabela B5: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 05/10/21 em Petrolina.

HORA	AMBIENTE		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[07:00, 08:00[	22,89	59,55	26,43	30,73	25,87	32,82	31,92	34,12	30,88	33,96
[08:00, 09:00[	23,96	54,70	30,98	31,19	31,4200	35,20	46,48	35,93	45,21	34,04
[09:00, 10:00[	26,17	47,13	34,38	31,11	34,4967	33,48	63,95	28,49	62,54	27,39
[10:00, 11:00[	28,25	38,33	38,61	27,85	38,0417	30,13	79,84	20,50	76,98	23,17
[11:00, 12:00[	30,21	30,22	42,93	26,26	40,1763	27,07	86,19	19,50	83,58	20,98
[12:00, 13:00[	32,3	24,53	42,21	27,02	40,6367	25,34	90,04	18,22	84,63	19,33
[13:00, 14:00[	33,81	21,97	42,29	27,02	42,1067	24,56	94,32	16,62	86,53	19,08
[14:00, 15:00[	34,86	19,97	42,12	25,91	42,1100	18,92	91,94	18,72	88,11	19,60
[15:00, 16:00[	35,65	18,38	41,50	25,36	41,3400	24,82	84,17	17,94	78,17	19,90
[16:00, 17:00[	36	15,55	37,49	26,52	37,4200	26,12	74,36	16,21	53,76	21,49
Média	30,41	33,03	37,89	27,90	37,36	27,85	74,32	23,34	69,04	23,89

Tabela B6: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 05/10/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSII					SSIV				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	53,46	48	101,46	12,68	0,875	50,92	50,61	101,53	12,69	0,875
60	49,09	41,45	90,54	12,68	0,860	46,52	45,72	92,24	12,69	0,862
120	46,65	32,09	78,74	12,68	0,839	42,52	41	83,52	12,69	0,848
180	34	22,26	56,26	12,68	0,775	34	31,65	65,65	12,69	0,807
240	21,68	12,32	34	12,68	0,627	23,62	20,69	44,31	12,69	0,714
300	14,63	7,68	22,31	12,68	0,432	16,73	13,86	30,59	12,69	0,585
360	10	6,75	16,75	12,68	0,243	13,24	10	23,24	12,69	0,454
420	9,79	6,65	16,44	12,68	0,229	9,5	8,96	18,46	12,69	0,313
480	9,74	6,65	16,39	12,68	0,226	8,7	7,96	16,66	12,69	0,238
540	9,74	6,64	16,38	12,68	0,226	8,5	7,8	16,3	12,69	0,221

Tabela B7: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 06/10/21 em Petrolina.

HORA	AMBIENTE		SAÍDA SSI		SAÍDA SSIII	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[07:00, 08:00[	60,16	59,55	34,12	49,82	30,88	46,56
[08:00, 09:00[	54,22	54,7	42,4	40,86	47,73	33,46
[09:00, 10:00[	46,8	47,13	66,65	25,48	61,32	25,98
[10:00, 11:00[	42,47	38,33	82,77	22,41	72,07	23,33
[11:00, 12:00[	36,13	30,22	93,98	20,31	81,23	21,63
[12:00, 13:00[	30,21	24,53	97,77	19,25	85,47	20,98
[13:00, 14:00[	27,43	21,97	98,67	18,92	85,4	20,66
[14:00, 15:00[	25,07	19,97	91,09	19,86	79,1	21,04
[15:00, 16:00[	25,6	18,38	76,8	20,66	69,15	21,8
[16:00, 17:00[	24,84	15,55	53,24	23,36	46,64	26,93
Média	31,25	30,09	78,15	23,46	69,79	23,98

Tabela B8: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 06/10/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSII					SSIV				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	50,00	48,11	98,11	11,48	0,883	50,61	47,36	97,97	11,46	0,883
60	44,65	43,5	88,15	11,48	0,870	44,14	41,65	85,79	11,46	0,866
120	36,00	35,92	71,92	11,48	0,840	37,24	34,00	71,24	11,46	0,839
180	26,00	25,51	51,51	11,48	0,777	28,31	25,4	53,71	11,46	0,787
240	16,34	15,5	31,84	11,48	0,639	20,16	16,82	36,98	11,46	0,690
300	12,63	11,87	24,50	11,48	0,531	16,37	11,49	27,86	11,46	0,589
360	8,43	8,12	16,55	11,48	0,306	11,52	9,52	21,04	11,46	0,455
420	8,22	7,00	15,22	11,48	0,246	8,75	8,18	16,93	11,46	0,323
480	7,08	7,00	14,08	11,48	0,185	8,14	7,46	15,60	11,46	0,265
540	7,00	7,00	14,00	11,48	0,180	7,83	7,00	14,83	11,46	0,227

Tabela B9: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 21 e 22/10/21 em Campina Grande.

HORA	AMBIENTE		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	26,09	82,07	30,42	54,22	64,78	28,06	31,72	50,27	62,46	26,74
[09:00, 10:00[	27,66	60,67	34,60	36,73	70,45	24,65	35,01	35,30	69,57	23,09
[10:00, 11:00[	29,27	52,96	33,77	38,10	67,19	23,12	34,06	36,84	67,97	21,52
[11:00, 12:00[	29,50	51,14	36,40	35,17	79,74	20,96	36,52	34,20	77,70	21,32
[12:00, 13:00[	30,82	47,19	34,53	36,23	69,86	22,84	34,81	36,97	70,59	21,05
[13:00, 14:00[	31,25	45,54	34,49	37,25	66,77	24,06	34,91	36,75	66,03	21,34
[14:00, 15:00[	31,88	42,56	34,44	35,89	60,55	24,93	34,96	36,34	59,51	22,19
[15:00, 16:00[	31,12	45,47	32,17	42,26	46,23	29,81	32,62	41,59	44,39	27,98
[16:00, 17:00[	29,90	50,80	29,95	50,06	35,89	41,05	29,88	48,82	33,98	42,55
[08:00, 09:00[	25,45	92,11	27,63	65,76	39,27	45,74	28,01	64,18	40,09	41,76
[09:00, 10:00[	26,71	78,62	29,52	45,05	41,24	41,29	29,73	44,65	40,22	38,08
[10:00, 11:00[	28,44	67,16	31,93	43,43	54,07	30,70	32,47	43,18	54,01	29,26
[11:00, 12:00[	30,26	53,09	34,44	40,81	73,89	24,30	34,71	40,61	75,26	22,87
[12:00, 13:00[	30,36	50,46	35,07	36,75	79,80	22,40	35,30	38,23	78,72	20,43
[13:00, 14:00[	31,78	47,28	35,33	36,49	75,56	22,68	35,46	38,17	74,43	20,18
[14:00, 15:00[	31,79	46,59	35,44	36,70	72,30	22,89	35,57	38,51	72,49	20,29
[15:00, 16:00[	30,78	49,97	34,62	39,66	63,28	24,24	34,98	39,30	63,34	21,37
Média	29,59	56,69	33,22	41,80	62,40	27,87	33,57	41,41	61,81	26,00

Tabela B10: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 21 e22/10/21 em Campina Grande.

Tempo de experimento (min)	SSII							SSIV						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	54,21	43,87	98,08	13,00	0,868	6,547	1,000	50,09	47,81	97,9	12,97	0,868	6,547	1,000
60	45,5	36,22	81,72	13,00	0,841	5,286	0,806	43,78	41,83	85,61	12,97	0,848	5,601	0,855
120	36,92	28,91	65,83	13,00	0,803	4,064	0,619	35,91	34,12	70,03	12,97	0,815	4,399	0,670
180	31,46	24,24	55,7	13,00	0,767	3,285	0,499	30,12	28,93	59,05	12,97	0,780	3,553	0,540
240	25,74	19,46	45,2	13,00	0,712	2,477	0,375	25,34	23,12	48,46	12,97	0,732	2,736	0,415
300	18,20	14,27	32,47	13,00	0,600	1,498	0,225	19,43	18,37	37,8	12,97	0,657	1,914	0,289
360	15,89	11,90	27,79	13,00	0,532	1,138	0,170	16,4	15,44	31,84	12,97	0,593	1,455	0,218
420	14,73	10,64	25,37	13,00	0,488	0,952	0,141	15,38	14,81	30,19	12,97	0,570	1,328	0,199
480	13,68	10,13	23,81	13,00	0,454	0,832	0,123	14,49	13,89	28,38	12,97	0,543	1,188	0,177
540	11,90	8,49	20,39	13,00	0,362	0,568	0,082	11,44	11,32	22,76	12,97	0,430	0,755	0,111
600	9,56	7,63	17,19	13,00	0,244	0,322	0,045	10,1	9	19,1	12,97	0,321	0,473	0,067
660	8,18	6,07	14,25	13,00	0,088	0,096	0,010	8,12	8,95	17,07	12,97	0,240	0,316	0,043
720	7,91	5,89	13,8	13,00	0,058	0,062	0,005	7,83	7,44	15,27	12,97	0,151	0,177	0,022

Tabela B7: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 25 e 26/10/21 em Campina Grande.

HORA	AMBIENTE		SAÍDA SSI		SAÍDA SSIH	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	27,13	64,10	56,36	24,88	57,51	27,78
[09:00, 10:00[	28,68	55,03	67,23	22,17	66,13	25,12
[10:00, 11:00[	30,14	48,06	73,62	20,80	71,40	23,66
[11:00, 12:00[	31,41	41,95	76,91	20,06	75,55	22,65
[12:00, 13:00[	32,29	37,51	71,85	19,88	71,73	22,87
[13:00, 14:00[	32,57	36,64	63,19	20,62	63,58	23,73
[14:00, 15:00[	32,02	37,37	50,07	24,01	53,04	26,12
[15:00, 16:00[	31,06	39,83	40,07	30,09	42,66	30,97
[16:00, 17:00[	29,22	47,08	31,87	43,15	33,41	42,65
[08:00, 09:00[	27,12	53,40	57,02	23,49	56,84	26,77
[09:00, 10:00[	28,85	46,23	64,89	21,09	64,3	24,07
[10:00, 11:00[	29,45	44,87	62,55	21,15	61,85	24,21
[11:00, 12:00[	29,68	46,29	54,90	23,45	54,00	26,66
[12:00, 13:00[	28,69	53,91	58,92	22,74	59,11	25,74
[13:00, 14:00[	29,13	51,84	54,10	24,33	55,12	26,89
[14:00, 15:00[	29,83	50,22	51,18	25,31	53,63	27,25
[15:00, 16:00[	29,27	52,45	40,01	33,84	42,12	34,39
Média	29,80	47,46	57,34	24,77	57,76	27,15

Tabela B8: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 25 e 26/10/21 em Campina Grande.

Tempo de experimento (min)	SSII							SSIV						
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	X_{bs}	RU
0	58,44	45,64	104,08	10,96	0,895	8,497	1,000	52,26	49,64	101,9	10,73	0,895	8,497	1,000
60	51,32	39,61	90,93	10,96	0,879	7,297	0,857	45,92	42,68	88,60	10,73	0,879	7,257	0,852
120	44,29	31,98	76,27	10,96	0,856	5,959	0,697	37,89	33,48	71,37	10,73	0,850	5,651	0,660
180	31,15	24,45	55,60	10,96	0,803	4,073	0,471	26,43	25,57	52,00	10,73	0,794	3,846	0,444
240	26,09	18,78	44,87	10,96	0,756	3,094	0,354	22,39	19,75	42,14	10,73	0,745	2,927	0,334
300	20,84	14,4	35,24	10,96	0,689	2,215	0,249	16,44	15,63	32,07	10,73	0,665	1,989	0,222
360	16,59	10,65	27,24	10,96	0,598	1,485	0,162	14,15	11,86	26,01	10,73	0,587	1,424	0,155
420	13,17	9,47	22,64	10,96	0,516	1,066	0,112	11,68	9,52	21,20	10,73	0,494	0,976	0,101
480	12,68	8,22	20,90	10,96	0,476	0,907	0,093	11,41	9,47	20,88	10,73	0,486	0,946	0,098
540	11,23	7,83	19,06	10,96	0,425	0,739	0,073	11,29	9,13	20,42	10,73	0,475	0,903	0,092
600	8,11	6,49	14,60	10,96	0,249	0,332	0,024	9,17	8,02	17,19	10,73	0,376	0,602	0,056
660	8,07	6,36	14,43	10,96	0,240	0,317	0,022	7,82	6,85	14,67	10,73	0,269	0,367	0,028
720	8,14	5,64	13,78	10,96	0,205	0,257	0,015	7,33	6,46	13,79	10,73	0,222	0,285	0,019

Tabela B9: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 27 e 28/10/21 em Campina Grande.

HORA	AMBIENTE		SAÍDA SSI		SAÍDA SSIH	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	25,79	75,68	48,41	29,49	49,50	31,48
[09:00, 10:00[	27,50	61,99	61,58	24,29	61,69	26,64
[10:00, 11:00[	29,07	51,27	65,97	21,79	64,80	24,48
[11:00, 12:00[	30,10	47,59	70,19	21,12	70,52	23,39
[12:00, 13:00[	31,13	43,70	69,24	20,71	70,03	23,18
[13:00, 14:00[	31,23	42,99	55,70	23,08	55,61	26,01
[14:00, 15:00[	30,98	44,60	48,69	25,83	50,64	27,80
[15:00, 16:00[	30,02	48,48	38,35	34,31	39,74	35,82
[16:00, 17:00[	28,73	53,03	31,07	47,31	31,84	47,18
[08:00, 09:00[	26,69	69,41	52,56	26,44	53,26	28,82
[09:00, 10:00[	28,32	56,69	54,39	24,13	54,30	27,16
[10:00, 11:00[	29,69	52,73	65,12	22,11	65,56	24,67
[11:00, 12:00[	31,12	47,16	71,09	20,40	71,31	23,06
[12:00, 13:00[	31,05	45,39	66,10	20,07	66,45	23,00
[13:00, 14:00[	32,07	37,23	57,22	20,98	58,30	23,94
[14:00, 15:00[	32,57	35,54	52,67	22,00	55,18	24,49
[15:00, 16:00[	32,31	36,56	42,70	26,20	45,62	27,69
Média	29,91	50,00	55,94	25,31	56,73	27,58

Tabela B10: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 27 e 28/10/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSI					SSIII				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	50,03	52,89	102,92	12,79	0,876	52,81	50,8	103,61	12,88	0,876
60	45,04	47,63	92,67	12,79	0,862	48,32	45,1	93,42	12,88	0,862
120	34,82	38,72	73,54	12,79	0,826	41,89	38,29	80,18	12,88	0,839
180	27,12	30,52	57,64	12,79	0,778	34,53	32,05	66,58	12,88	0,807
240	22,42	24,68	47,1	12,79	0,728	28,82	24,74	53,56	12,88	0,760
300	17,24	18,02	35,26	12,79	0,637	22,81	18,11	40,92	12,88	0,685
360	15,2	15,55	30,75	12,79	0,584	18,47	15,73	34,2	12,88	0,623
420	12,49	13,42	25,91	12,79	0,506	15,79	14,62	30,41	12,88	0,576
480	11,47	11,67	23,14	12,79	0,447	14,66	13,03	27,69	12,88	0,535
540	10,29	10,3	20,59	12,79	0,379	13,44	12,61	26,05	12,88	0,506
600	8,31	8,69	17	12,79	0,248	11,52	10,59	22,11	12,88	0,417
660	7,88	7,29	15,17	12,79	0,157	9,22	8,72	17,94	12,88	0,282
720	7	7,11	14,11	12,79	0,094	8,87	7,77	16,64	12,88	0,226

Tabela B11: Temperatura e umidade relativa do ar durante a realização do experimento no dia 29 e 30/10/21 em Campina Grande.

HORA	AMBIENTE		ENTRADA SSII		SAÍDA SSII		ENTRADA SSIV		SAÍDA SSIV	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
[08:00, 09:00[	30,29	69,33	32,41	41,29	72,97	25,85	32,72	42,12	67,80	23,64
[09:00, 10:00[	32,03	57,25	33,40	39,35	75,00	24,16	34,01	40,01	73,18	21,30
[10:00, 11:00[	33,28	49,26	34,14	37,02	77,17	23,59	34,76	37,64	76,24	20,48
[11:00, 12:00[	34,45	43,77	35,83	34,39	79,01	23,08	35,52	35,24	77,35	20,02
[12:00, 13:00[	35,76	40,13	35,90	34,16	77,76	22,73	34,81	35,37	76,27	19,58
[13:00, 14:00[	36,09	42,99	32,63	32,29	67,54	23,31	32,70	36,75	66,21	20,20
[14:00, 15:00[	36,19	53,52	32,40	37,26	55,36	26,32	32,67	37,34	54,96	23,48
[15:00, 16:00[	35,05	61,14	29,93	45,36	46,27	31,30	30,53	44,59	45,02	29,47
[16:00, 17:00[	33,45	79,73	27,58	55,10	36,15	40,68	28,88	52,82	34,06	42,60
[08:00, 09:00[	27,36	62,18	30,44	45,94	65,08	25,62	30,12	45,68	63,58	23,35
[09:00, 10:00[	29,41	51,328	32,39	40,44	77,50	22,80	32,99	43,25	76,97	20,35
[10:00, 11:00[	31,54	43,227	33,92	36,90	83,45	21,83	32,77	38,18	84,77	19,44
[11:00, 12:00[	33,03	38,228	33,92	36,90	83,45	21,83	33,21	36,38	84,77	19,44
[12:00, 13:00[	34,17	36,138	35,15	34,54	84,60	21,50	35,02	34,71	86,67	18,95
[13:00, 14:00[	34,88	34,999	35,97	33,86	81,09	21,62	35,26	34,19	80,44	18,82
[14:00, 15:00[	35,01	35,631	35,24	34,53	74,22	21,76	34,87	35,21	74,41	18,53
[15:00, 16:00[	34,74	37,500	33,38	36,60	58,81	22,99	32,98	37,24	59,28	19,43
Média	33,34	49,20	33,21	38,58	70,32	24,76	33,17	39,22	69,53	22,30

Tabela B12: Dados referentes a variação de massa experimento realizado no dia 29 e 30/10/21 em Petrolina.

Tempo de experimento (min)	SSII					SSIV				
	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}	m_1 (g)	m_2 (g)	m_{total} (g)	m_s (g)	X_{bu}
0	54,73	50,87	105,6	12,25	0,884	54,8	50,7	105,5	12,24	0,884
60	47,42	44,2	91,62	12,25	0,866	45,73	42,89	88,62	12,24	0,862
120	40,29	37,15	77,44	12,25	0,842	37,68	35,32	73	12,24	0,832
180	31,25	27,58	58,83	12,25	0,792	28,17	26,44	54,61	12,24	0,776
240	25,5	20,06	45,56	12,25	0,731	22,14	21,08	43,22	12,24	0,717
300	20,26	16,32	36,58	12,25	0,665	16,52	15,93	32,45	12,24	0,623
360	16,09	13,11	29,2	12,25	0,580	11,89	11,66	23,55	12,24	0,480
420	14,28	11,18	25,46	12,25	0,519	11,23	10,71	21,94	12,24	0,442
480	12,67	9,23	21,9	12,25	0,441	9,65	8,73	18,38	12,24	0,334
540	11,87	8,75	20,62	12,25	0,406	9,51	8,06	17,57	12,24	0,303
600	8,75	7,08	15,83	12,25	0,226	8,06	7,42	15,48	12,24	0,209
660	7,26	6,85	14,11	12,25	0,132	7,8	7,15	14,95	12,24	0,181
720	6,7	6,7	13,4	12,25	0,086	6,68	7	13,68	12,24	0,105

APÊNDICE C . Rendimento térmico (outono/inverno)

Tabela C1: Rendimento térmico do SSI em Petrolina (25 e 26 /03/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	74,99	97,42	264	1,08	156,5	21,77%
[09:00, 10:00[	0,002767	3,09167E-06	76,22	131,5	466,9	1,08	217,5	30,47%
[10:00, 11:00[	0,002767	1,98333E-06	74,18	180,9	744	1,08	283,9	36,82%
[11:00, 12:00[	0,002767	2,04167E-06	77,5	308,6	917	1,08	373,5	64,64%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,53333E-06	78,53	309,1	935	1,08	375,5	63,27%
[13:00, 14:00[	0,002767	1,16944E-06	77,76	265,6	849	1,08	353,3	56,73%
[14:00, 15:00[	0,002767	2,02222E-06	79,33	219,5	699,9	1,08	324,4	51,40%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,60833E-06	76,22	134,1	562,2	1,08	242,3	26,44%
[16:00, 17:00[	0,002767	1,05556E-06	77,49	108	389,8	1,08	201,6	20,10%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	56,36	95,86	272,9	1,08	160,2	37,08%
[09:00, 10:00[	0,002767	3,94444E-07	76,74	126,2	576,9	1,08	219,2	21,98%
[10:00, 11:00[	0,002767	3,91667E-07	76,7	160,7	550,8	1,08	267,4	39,09%
Média do rendimento térmico								39,15%

Tabela C2: Rendimento térmico do SSII em Petrolina (25 e 26 /03/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	97,47	125	339,5	1,08	188,2	20,78%
[09:00, 10:00[	0,002767	2,16111E-06	112,2	155,9	604,4	1,08	235	18,60%
[10:00, 11:00[	0,002767	0,000004975	127,7	230,1	774	1,08	300,4	34,07%
[11:00, 12:00[	0,002767	3,58333E-06	149,8	444,1	864	1,08	388	87,42%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,98056E-06	140,8	427,6	882	1,08	387,2	83,43%
[13:00, 14:00[	0,002767	7,63889E-07	134,3	379,3	931	1,08	372,1	67,45%
[14:00, 15:00[	0,002767	9,33333E-07	121,2	261,9	843	1,08	328,6	42,80%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,01389E-06	103,5	143,2	639,1	1,08	241,1	15,95%
[16:00, 17:00[	0,002767	6,33333E-07	96,8	114,3	402,2	1,08	202	11,18%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	87,51	114,2	249,1	1,08	173,5	27,45%
[09:00, 10:00[	0,002767	3,52778E-07	98,3	148,8	464,7	1,08	229	27,86%
[10:00, 11:00[	0,002767	5,72222E-07	108,4	198,4	575,4	1,08	277,1	40,10%
Média do rendimento térmico								39,76%

Tabela C3: Rendimento térmico do SSIII em Petrolina (13 e 14/04/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ²)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	78,04	105,7	394	1,176	162,7	16,52%
[09:00, 10:00[	0,002767	2,16667E-06	80,65	174,3	562,4	1,176	261,8	39,27%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,15556E-06	80,54	242,7	768	1,176	326,3	49,83%
[11:00, 12:00[	0,002767	4,16944E-06	81,31	283,8	967	1,176	356,8	49,40%
[12:00, 13:00[	0,002767	3,46111E-06	81,29	251,8	967	1,176	345	41,59%
[13:00, 14:00[	0,002767	3,53889E-06	80,96	273,4	900	1,176	351,9	50,43%
[14:00, 15:00[	0,002767	1,90278E-06	81,7	291,8	731	1,176	366,4	67,71%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,71389E-06	80,27	197	525,7	1,176	310,4	52,33%
[16:00, 17:00[	0,002767	2,97222E-07	80,75	143,2	300,2	1,176	256,9	48,97%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	79,67	108	209,2	1,176	175,1	31,86%
[09:00, 10:00[	0,002767	5,36111E-07	78,89	161	377,8	1,176	319	51,18%
[10:00, 11:00[	0,002767	3,22222E-07	76,04	199,2	680,7	1,176	305,2	42,58%
[11:00, 12:00[	0,002767	4,30556E-07	78,17	201,6	1010	1,176	312,2	28,77%
[12:00, 13:00[	0,002767	3,30556E-07	79,73	142,6	750	1,176	261,4	19,73%
[08:00, 09:00[	0,002767	4,11111E-07	79,89	125,3	501,6	1,176	236,4	21,32%
Média do rendimento térmico								40,77%

Tabela C4: Rendimento térmico do SSIV em Petrolina (13 e 14 /04/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	87,39	138,9	394	1,176	205,4	30,76%
[09:00, 10:00[	0,002767	2,68333E-06	112,9	200,6	562,4	1,176	273,7	36,80%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,05556E-06	125,8	279,4	768	1,176	326,9	47,20%
[11:00, 12:00[	0,002767	4,13056E-06	132,3	340,3	967	1,176	357,7	50,74%
[12:00, 13:00[	0,002767	3,21944E-06	146	325,8	967	1,176	353,4	43,85%
[13:00, 14:00[	0,002767	3,24167E-06	138,5	416,5	900	1,176	388,6	72,80%
[14:00, 15:00[	0,002767	2,10278E-06	125,9	354,6	731	1,176	369,4	73,70%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,36944E-06	120,6	282,7	525,7	1,176	339,1	72,63%
[16:00, 17:00[	0,002767	3,02778E-07	105,4	171,1	300,2	1,176	266	51,52%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	92,55	126,3	209,2	1,176	187,2	37,96%
[09:00, 10:00[	0,002767	6,38889E-08	105,9	159,7	377,8	1,176	243,6	33,51%
[10:00, 11:00[	0,002767	2,86111E-07	129,6	285,9	680,7	1,176	334,2	54,04%
[11:00, 12:00[	0,002767	2,5E-08	124,1	279,1	1010	1,176	334	36,11%
[12:00, 13:00[	0,002767	1,05556E-06	128,9	268,7	750	1,176	329,3	43,90%
[08:00, 09:00[	0,002767	5,83333E-08	109,4	180	501,6	1,176	271,3	33,12%
Média do rendimento térmico								47,91%

Tabela C5: Rendimento térmico do SIII em Campina Grande (03,04 e 05 / 05/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[09:00, 10:00[	0,002767	0	89,16	150,7	555,24	1,176	220,2	26,08%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,64444E-06	88,41	164,1	490,56	1,176	245,6	36,50%
[11:00, 12:00[	0,002767	3,89167E-06	87,81	143,3	532,81	1,176	219,7	24,64%
[12:00, 13:00[	0,002767	3,66389E-06	87,67	145,9	406,83	1,176	223,9	33,85%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,26389E-06	87,36	139,8	617,92	1,176	216,7	20,04%
[14:00, 15:00[	0,002767	2,59722E-06	90,36	135,6	247,33	1,176	246,8	43,26%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,59167E-06	90,97	122,5	200,01	1,176	187,5	37,22%
[16:00, 17:00[	0,002767	1,01389E-06	92,2	102,8	59,33	1,176	148,9	42,25%
[09:00, 10:00[	0,002767	0	95,63	171,8	460,63	1,176	250,3	38,91%
[10:00, 11:00[	0,002767	3,30278E-06	97,94	127,8	417,69	1,176	192,8	16,95%
[11:00, 12:00[	0,002767	1,35278E-06	95,34	139,4	362,49	1,176	210,8	28,67%
[12:00, 13:00[	0,002767	0,000000525	91,64	131,3	135,57	1,176	200,4	68,90%
[09:00, 10:00[	0,002767	0	87,85	178,8	542,3733	1,176	200,4	39,46%
[10:00, 11:00[	0,002767	1,99444E-06	88,3	148,5	490,5583	1,176	257,1	28,96%
[11:00, 12:00[	0,002767	0,00000075	87,55	197,1	863,3817	1,176	230,4	29,87%
Média do rendimento térmico								34,37%

Tabela C6: Rendimento térmico do SSIV em Campina Grande (03,04 e 05 / 05/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ²)	hv (kJ/kg)	η
[09:00, 10:00[	0,002767	0	91,88	136	555,24	1,176	240,6	18,70%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,85556E-06	94,96	151,9	490,56	1,176	284,8	27,55%
[11:00, 12:00[	0,002767	3,88611E-06	94,23	137,8	532,81	1,176	259,7	19,40%
[12:00, 13:00[	0,002767	3,44167E-06	95,55	138,6	406,83	1,176	264,9	25,09%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,41389E-06	92,49	135,5	617,92	1,176	262,6	16,46%
[14:00, 15:00[	0,002767	3,84167E-06	90,65	152,5	247,33	1,176	305,2	63,28%
[15:00, 16:00[	0,002767	4,47222E-07	90,41	127,8	200,01	1,176	233,5	43,37%
[16:00, 17:00[	0,002767	9,72222E-07	87,5	101,6	59,33	1,176	183,3	56,17%
[09:00, 10:00[	0,002767	0	89,21	170,5	460,63	1,176	282,5	41,52%
[10:00, 11:00[	0,002767	2,90556E-06	88,81	129,9	417,69	1,176	230,7	21,78%
[11:00, 12:00[	0,002767	1,40278E-06	85,54	142	362,49	1,176	250,4	29,72%
[12:00, 13:00[	0,002767	1,33056E-06	84,5	129,7	135,57	1,176	243,3	74,68%
[09:00, 10:00[	0,002767	0	87,5	143,1	542,3733333	1,176	260	24,12%
[10:00, 11:00[	0,002767	9,77778E-07	89,1	137,3	490,5583333	1,176	260,1	23,16%
[11:00, 12:00[	0,002767	7,47222E-07	92,91	173,4	863,3816667	1,176	321,4	21,96%
Média do rendimento térmico								34,40%

Tabela C7: Rendimento térmico do SSI em Campina Grande (08 e 10/ 05/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[09:00, 10:00[	0,002767	0	91,46	174,7	640,86	1,08	220,2	33,28%
[10:00, 11:00[	0,002767	6,91667E-06	90,06	169	804,88	1,08	245,6	25,32%
[11:00, 12:00[	0,002767	7,13889E-06	90,07	182,2	566,10	1,08	219,7	41,95%
[12:00, 13:00[	0,002767	1,83333E-06	89,96	197,8	722,24	1,08	223,9	38,31%
[13:00, 14:00[	0,002767	4,27778E-06	92,06	176,8	488,28	1,08	216,7	44,64%
[14:00, 15:00[	0,002767	1,77778E-06	90,45	163,3	310,87	1,08	246,8	60,17%
[15:00, 16:00[	0,002767	9,72222E-07	88,36	150,4	234,47	1,08	187,5	67,86%
[16:00, 17:00[	0,002767	7,5E-07	90,4	118,7	110,17	1,08	148,9	65,91%
[09:00, 10:00[	0,002767	0	95,13	185,7	424,08	1,08	270	54,72%
[10:00, 11:00[	0,002767	1,55556E-06	95,19	188,6	589,69	1,08	276,3	40,65%
[11:00, 12:00[	0,002767	9,16667E-07	93,93	200,1	505,30	1,08	288,7	53,88%
[12:00, 13:00[	0,002767	1,33333E-06	94,5	158,6	523,60	1,08	243,6	31,42%
[13:00, 14:00[	0,002767	4,44444E-07	94,84	167,3	418,07	1,08	277,3	44,43%
[14:00, 15:00[	0,002767	9,44444E-07	95,89	185,9	737,55	1,08	285,6	31,30%
Média do rendimento térmico								46,51%

Tabela C8: Rendimento térmico do SSII em Campina Grande (08 e 10 / 05/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[09:00, 10:00[	0,002767	0	90,81	160,1	640,86	1,08	240,6	27,70%
[10:00, 11:00[	0,002767	0,000006	83,1	193	804,88	1,08	284,8	35,18%
[11:00, 12:00[	0,002767	6,08333E-06	82,57	207,2	566,10	1,08	259,7	56,66%
[12:00, 13:00[	0,002767	3,38889E-06	82,07	185,3	722,24	1,08	264,9	36,73%
[13:00, 14:00[	0,002767	4,47222E-06	82,07	174,6	488,28	1,08	262,6	48,77%
[14:00, 15:00[	0,002767	0,00000175	89,73	197,4	310,87	1,08	305,2	88,90%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,22222E-06	91,91	155	234,47	1,08	233,5	69,05%
[16:00, 17:00[	0,002767	7,22222E-07	81,44	106,4	110,17	1,08	183,3	58,16%
[09:00, 10:00[	0,002767	0	93,15	157,1	424,08	1,08	268,2	38,64%
[10:00, 11:00[	0,002767	5E-07	93,04	170,2	589,69	1,08	279,6	33,55%
[11:00, 12:00[	0,002767	1,80556E-06	93,17	189,9	505,30	1,08	309,5	49,15%
[12:00, 13:00[	0,002767	1,86111E-06	92,24	154	523,60	1,08	260,4	30,31%
[13:00, 14:00[	0,002767	1,05556E-06	97,46	155	418,07	1,08	281	35,33%
[14:00, 15:00[	0,002767	4,16667E-07	105,6	195,9	737,55	1,08	302,5	31,38%
Média do rendimento térmico								47,73%

APÊNDICE D . Rendimento térmico (primavera/verão)

Tabela D1 Rendimento térmico do SSIV em Petrolina (28 /09/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m²)	área incidência (m³)	hv (kJ/kg)	η
[07:00, 08:00[	0,002767	0	69,86	82,86	178,4	1,08	128,6	18,67%
[08:00, 09:00[	0,002767	1,99722E-06	70,08	117,9	427,00	1,08	183,2	28,77%
[09:00, 10:00[	0,002767	4,45556E-06	71,58	175,4	660,40	1,08	260	40,44%
[10:00, 11:00[	0,002767	5,07778E-06	70,52	258,1	837,00	1,08	324,8	57,60%
[11:00, 12:00[	0,002767	4,25278E-06	71,03	252,2	948,00	1,08	328,8	49,10%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,26667E-06	72,83	277	983,00	1,08	344,5	53,29%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,18333E-06	71,74	303,3	926,00	1,08	357,9	64,15%
[14:00, 15:00[	0,002767	2,18056E-06	72,03	256,6	818,00	1,08	336,4	57,89%
[15:00, 16:00[	0,002767	2,55556E-07	72,49	199,5	634,70	1,08	299,9	51,28%
[16:00, 17:00[	0,002767	1,27778E-07	73,55	113,8	396,30	1,08	206,3	26,03%
Média do rendimento térmico								44,72%

Tabela D2 Rendimento térmico do SIII em Petrolina (28 /09/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m²)	área incidência (m³)	hv (kJ/kg)	η
[07:00, 08:00[	0,002767	0	69,86	78,63	178,5	1,176	121,6	11,56%
[08:00, 09:00[	0,002767	3,19722E-06	70,08	115,3	427,00	1,176	190,7	25,04%
[09:00, 10:00[	0,002767	4,11667E-06	71,58	148,1	660,40	1,176	245,5	27,39%
[10:00, 11:00[	0,002767	1,63611E-06	70,52	186,9	837,00	1,176	290,9	32,76%
[11:00, 12:00[	0,002767	4,81389E-06	71,03	218,4	948,00	1,176	321	36,72%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,44167E-06	72,83	239,5	983,00	1,176	333,7	39,96%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,32222E-06	71,74	247,3	926,00	1,176	338,4	44,68%
[14:00, 15:00[	0,002767	2,50278E-06	72,03	220,7	818,00	1,176	322,1	42,85%
[15:00, 16:00[	0,002767	9,86111E-07	72,49	167,4	634,70	1,176	280	35,22%
[16:00, 17:00[	0,002767	3,30556E-07	73,55	102,1	396,30	1,176	191,5	16,96%
Média do rendimento térmico								31,31%

Tabela D3 Rendimento térmico do SSII em Petrolina (30 /09/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m²)	área incidência (m³)	hv (kJ/kg)	η
[07:00, 08:00[	0,002767	0	72,21	94,14	178,4	1,08	150,2	31,49%
[08:00, 09:00[	0,002767	2,74722E-06	80,38	101,7	285,90	1,08	162,4	19,25%
[09:00, 10:00[	0,002767	1,69444E-06	89,91	136,1	469,00	1,08	223,2	25,31%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,49722E-06	96,55	218,4	758,00	1,08	308	41,35%
[11:00, 12:00[	0,002767	3,47222E-06	88,87	295,1	901,00	1,08	358,2	56,27%
[12:00, 13:00[	0,002767	5,88611E-06	96,27	351,9	941,00	1,08	386,2	69,82%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,67222E-06	88,73	299,4	907,00	1,08	366	59,61%
[14:00, 15:00[	0,002767	1,52778E-06	98,05	291,9	754,00	1,08	362,7	65,94%
[15:00, 16:00[	0,002767	5,13889E-07	92,2	201,2	560,20	1,08	307,8	49,88%
[16:00, 17:00[	0,002767	1,13889E-07	79,98	122,7	254,90	1,08	222,3	42,95%
Média do rendimento térmico								46,19%

Tabela D4 Rendimento térmico do SSIv em Petrolina (30 /09/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[07:00, 08:00[	0,002767	0	71,11	96,93	178,4	1,176	151	34,05%
[08:00, 09:00[	0,002767	2,54722E-06	83,51	111	285,90	1,176	165,2	22,75%
[09:00, 10:00[	0,002767	1,98333E-06	90,31	148,6	469,00	1,176	220,6	29,32%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,55556E-06	98,02	225,8	758,00	1,176	297	39,82%
[11:00, 12:00[	0,002767	3,83611E-06	99,48	299,6	901,00	1,176	348,1	52,39%
[12:00, 13:00[	0,002767	5,94722E-06	97,75	345,9	941,00	1,176	377,8	62,25%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,77778E-06	90,7	279,5	907,00	1,176	351,5	49,07%
[14:00, 15:00[	0,002767	1,41389E-06	106,3	284,1	754,00	1,176	353,7	55,54%
[15:00, 16:00[	0,002767	3,52778E-07	90,4	184,7	560,20	1,176	294,1	39,62%
[16:00, 17:00[	0,002767	3,05556E-08	81,05	110,4	254,90	1,176	210,8	27,09%
Média do rendimento térmico								41,19%

Tabela D5: Rendimento térmico do SSI em Campina Grande (25 e 26/10/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0	84,22	146,4	387,99	1,08	235,9	0	41,06%
[09:00, 10:00[	3,69444E-06	83,54	192,6	684,83	1,08	281,3	3,69444E-06	40,94%
[10:00, 11:00[	4,78611E-06	83,27	226,3	932,00	1,08	308,1	4,78611E-06	39,47%
[11:00, 12:00[	5,38056E-06	82,51	245,3	1029,23	1,08	321,9	5,38056E-06	40,68%
[12:00, 13:00[	2,73889E-06	81,52	208,3	931,11	1,08	300,7	2,73889E-06	34,97%
[13:00, 14:00[	2,79722E-06	81,58	163,7	793,01	1,08	264,4	2,79722E-06	26,62%
[14:00, 15:00[	1,68333E-06	80,69	119,1	604,21	1,08	209,6	1,68333E-06	16,34%
[15:00, 16:00[	1,33611E-06	79,97	96,33	376,74	1,08	167,8	1,33611E-06	11,18%
[16:00, 17:00[	8,88889E-08	79,95	84,74	138,80	1,08	133,6	8,88889E-08	8,85%
[08:00, 09:00[	0	77,91	145,2	714,47	1,08	238,6	0	24,13%
[09:00, 10:00[	1,27778E-07	78,36	174,3	735,90	1,08	271,5	1,27778E-07	33,41%
[10:00, 11:00[	8,97222E-07	79,12	162,7	670,45	1,08	261,7	8,97222E-07	31,97%
[11:00, 12:00[	7E-07	80,72	136,1	492,16	1,08	229,8	7E-07	28,86%
[12:00, 13:00[	2,44444E-07	82,85	151,4	557	1,08	246,6	2,44444E-07	31,54%
Média do rendimento térmico								29,29%

Tabela D6: Rendimento térmico do SSIII em Campina Grande (25 e 26/10/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	84,22	160,7	387,99	1,176	240,7	46,38%
[09:00, 10:00[	0,002767	3,65278E-06	83,54	200,3	684,83	1,176	276,7	40,24%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,07222E-06	83,27	228,9	932,00	1,176	298,8	36,88%
[11:00, 12:00[	0,002767	5,74167E-06	82,51	254,7	1029,23	1,176	316,2	39,51%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,98056E-06	81,52	226,3	931,11	1,176	300,2	36,67%
[13:00, 14:00[	0,002767	0,000002675	81,58	178,6	793,01	1,176	266	28,86%
[14:00, 15:00[	0,002767	2,22222E-06	80,69	135,3	604,21	1,176	222	21,34%
[15:00, 16:00[	0,002767	1,27778E-06	79,97	105,7	376,74	1,176	178,6	16,12%
[16:00, 17:00[	0,002767	4,83333E-07	79,95	88,93	138,80	1,176	140	15,26%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	77,91	154,3	714,47	1,176	237,9	25,16%
[09:00, 10:00[	0,002767	5,11111E-07	78,36	184,2	735,90	1,176	269,1	33,86%
[10:00, 11:00[	0,002767	1,23889E-06	79,12	171,2	670,45	1,176	258,8	32,36%
[11:00, 12:00[	0,002767	4,72222E-08	80,72	140,8	492,16	1,176	226	28,72%
[12:00, 13:00[	0,002767	1,80556E-07	82,85	162,3	557,00	1,176	247,4	33,57%
Média do rendimento térmico								31,07%

Tabela D7: Rendimento térmico do SSII em Campina Grande (21 e 22/10/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m ²)	área incidência (m ³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	88,50	205,2	638,94	1,08	271,1	46,79%
[09:00, 10:00[	0,002767	3,41389E-06	87,28	227,9	658,55	1,08	294,6	54,85%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,32778E-06	86,11	197,1	613,35	1,08	281,1	46,55%
[11:00, 12:00[	0,002767	0,00000305	91,03	276,8	528,58	1,08	333,7	90,22%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,94167E-06	86,63	213	630,34	1,08	292,3	51,49%
[13:00, 14:00[	0,002767	2,96111E-06	87,43	192,2	638,27	1,08	279,4	42,17%
[14:00, 15:00[	0,002767	1,65556E-06	86,07	166,9	546,16	1,08	253,4	37,99%
[15:00, 16:00[	0,002767	4,58333E-07	84,92	116,3	300,47	1,08	193,5	26,78%
[16:00, 17:00[	0,002767	5,02778E-07	84,1	95,27	124,47	1,08	150,4	23,05%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	86,86	134,9	220,22	1,08	164,5	55,89%
[09:00, 10:00[	0,002767	1,56111E-06	79,43	114,7	452,98	1,08	172,7	20,00%
[10:00, 11:00[	0,002767	1,01667E-06	85,13	151,7	889,88	1,08	226,3	19,19%
[11:00, 12:00[	0,002767	5,63889E-07	90,48	255	788,1683333	1,08	309,2	53,50%
Média do rendimento térmico								43,73%

Tabela D8: Rendimento térmico do SSIV em Campina Grande (21 e 22/10/21).

Hora	vazão mássica (kg/s)	variação da massa (kg)	he (kJ/kg)	hs (kJ/kg)	G (W/m²)	área incidência (m³)	hv (kJ/kg)	η
[08:00, 09:00[	0,002767	0	89,78	184,6	638,94	1,176	261,4	34,92%
[09:00, 10:00[	0,002767	4,54444E-06	87,14	212,5	658,55	1,176	291,1	44,96%
[10:00, 11:00[	0,002767	4,41389E-06	85,84	193,7	613,35	1,176	284,4	41,55%
[11:00, 12:00[	0,002767	2,81389E-06	90,41	262,1	528,58	1,176	325,2	76,57%
[12:00, 13:00[	0,002767	2,91667E-06	88,1	207,4	630,34	1,176	295,4	44,65%
[13:00, 14:00[	0,002767	3,53611E-06	88,19	181,6	638,27	1,176	276,3	34,56%
[14:00, 15:00[	0,002767	0,0000013	87,96	152,2	546,16	1,176	249	27,73%
[15:00, 16:00[	0,002767	6,72222E-07	85,7	107	300,47	1,176	185,9	16,71%
[16:00, 17:00[	0,002767	4,33333E-07	83,03	90,6	124,47	1,176	142,2	14,35%
[08:00, 09:00[	0,002767	0	87,17	110,8	220,22	1,176	167,9	25,25%
[09:00, 10:00[	0,002767	0,00000095	79,74	106,7	452,98	1,176	168,4	14,03%
[10:00, 11:00[	0,002767	8,88889E-07	86,53	147,6	889,88	1,176	226	16,17%
[11:00, 12:00[	0,002767	8,16667E-07	91,12	253,9	788,17	1,176	314,9	48,62%
Média do rendimento térmico								33,85%

