



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**SECAGEM DE RESÍDUOS DE FRUTAS EM
SECADOR ROTO-AERADO**

PRISCILA BERNARDES SILVA

Uberlândia - MG - Brasil

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



SECAGEM DE RESÍDUOS DE FRUTAS EM SECADOR ROTO-AERADO

Priscila Bernardes Silva

Orientadores:

Prof. Dr. Marcos A. de Souza Barrozo

Prof. Dr. Claudio Roberto Duarte

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química

Uberlândia - MG – Brasil

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586s Silva, Priscila Bernardes, 1988-
2014 Secagem de resíduos de frutas em secador roto-aerado / Priscila Bernardes Silva. - 2014.
93 f. : il.

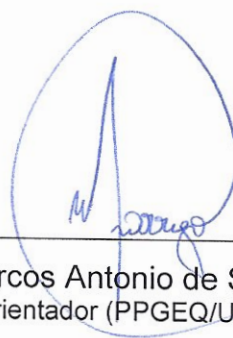
Orientadores: Marcos A. de Souza Barrozo, Claudio Roberto Duarte.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia química - Teses. 2. Acerola - Secagem - Teses. 3.
Compostos bioativos - Teses. I. Barrozo, Marcos A. de Souza. II. Duarte,
Claudio Roberto, 1975- III. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

CDU: 66.0

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, EM 25 DE JULHODE 2014.

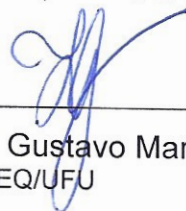
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcos Antonio de Souza Barrozo
Orientador (PPGEQ/UFU)



Prof. Dr. Claudio Roberto Duarte
Orientador (PPGEQ/UFU)



Prof. Dr. Luiz Gustavo Martins Vieira
PPGEQ/UFU



Profª. Drª. Beatriz Cristina Silvério
IQ/UFU

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Márcia e Luiz.

Aos meus avós Oscarina e Geraldo.

Aos meus avós Geraldina e Pedro (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre presente, por mostrar os caminhos e me amparar nos momentos difíceis.

Aos meus pais, pelo apoio emocional e por acreditar. Aos meus irmãos pela amizade, carinho e companheirismo. Em especial ao Pedro pela paciência e compreensão. Aos meus avós pelo os preceitos de honestidade, fé e determinação. A todos meus familiares e amigos que motivaram para que este trabalho acontecesse.

Ao Robert pela compreensão, amor, paciência e por todos os auxílios dados ao longo deste trabalho.

Ao CNPq e à FAPEMIG pelos recursos financeiros que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Marcos Antonio de Souza Barrozo por sua orientação e auxílios constantes.

Ao Professor Claudio Roberto Duarte também pela orientação e preocupação.

Aos professores do curso de pós-graduação pela qualidade do ensino.

À Professora Dr^a Beatriz Silvério pela disposição em colaborar com o desenvolvimento do projeto.

À Fruteza LTDA por fornecerem as sementes de acerola com tanto prontidão e eficácia.

À Cecília, Tiaguinho, Silvino, Gabriel, Humberto, Ulisses, Roberta, Cléo, Francielle, Ione, Lúcia pela boa vontade em auxiliar.

Ao Tiago Pires pelas análises de caracterização em Camsizer.

Ao professor Dr. Guimes Rodrigues Filho e a sua aluna Sabrina pelas análises em DSC.

Aos alunos de iniciação científica Ailla, Ana Carolina, André, Camila, Dyovani, Ilya, Isabela, Kellen pela participação ativa para execução deste trabalho.

Aos colegas de laboratório Diogo, Gláucia, Lorena, Paolla, Renata, Neiton, Fernanda, Angélica, Suellen, Mariana, Dyrney e Irineu que foram primordiais com seus conselhos e disponibilidade em ajudar.

Às amigas Raquel e Nathacha pelo constante auxílio e disponibilidade para estudar e discutir questões teóricas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1- Acerola.....	4
2.2- Alimentos funcionais	6
2.3- Compostos bioativos	7
2.3.1- Ácido ascórbico	7
2.3.2- Ácido cítrico	9
2.3.3- Fenólicos	10
2.3.4- Flavonoides	11
2.4- Conteúdo de água, Atividade de água e Isotermas de dessorção.....	13
2.5- Calor específico	15
2.6- Tratamentos de pré-desidratação	16
2.7- Secagem	18
2.8- Cinética de secagem.....	21
2.9- Secadores rotatórios	24
MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1- Material	28
3.2- Umidade	28
3.3- Cinzas.....	28
3.4- Massa específica real	29
3.5- Massa específica aparente.....	29
3.6- Caracterização da forma e do tamanho das sementes de acerola.....	29
3.7- Ângulo de repouso estático e dinâmico	29
3.8- Calor específico	30
3.9- Análise dos compostos bioativos	31
3.9.1- Determinação da acidez titulável total (TA)	31
3.9.2- Determinação de ácido ascórbico (AA)	31

3.9.3- Determinação de compostos fenólicos totais (TPC)	32
3.9.4- Determinação de compostos flavonoides totais (TFC)	32
3.10- pH.....	32
3.11- Determinação do teor de açúcar redutores	32
3.12- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	33
3.13- Métodos de pré-desidratação	33
3.13.1- Pré-tratamento com etanol.....	33
3.13.2- Pré-tratamento com ultrassom.....	34
3.13.3- Pré-tratamento por osmose	34
3.14- Secagem em infravermelho.....	34
3.15- Secador roto-aerado	36
3.16- Metodologia Experimental.....	38
3.16.1- Medidas de vazão mássica de sólidos e velocidade do ar de secagem	38
3.16.2- Medidas do tempo médio de residência	39
3.16.3- Medidas de temperaturas	39
3.16.4- Taxa de secagem	39
3.16.5- Secagem com realimentação de sólidos	39
3.17- Planejamento experimental	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1- Caracterização do resíduo de acerola.....	41
4.2- Secagem no infravermelho	46
4.3- Secagem no secador roto-aerado	58
CONCLUSÕES.....	72
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICES	85
APÊNDICE 1 – RESULTADOS OBTIDOS DAS SECAGENS EM SECADOR ROTO-AERADO (PCC).....	86
APÊNDICE 2 – RESULTADOS DAS SECAGEN EM SECADOR ROTO-AERADO NOS QUAIS AS SEMENTES FORAM PREVIAMENTE TRATADAS COM ETANOL	87
APÊNDICE 3 – RESULTADOS DAS SECAGENS EM SECADOR ROTO-AERADO COM REALIMENTAÇÃO DAS SEMENTES DE ACEROLA.....	88

APÊNDICE 4 – RESULTADOS DAS CINÉTICAS DE SECAGEM EM INFRAVERMELHO PARA OS DIFERENTES MODELOS CINÉTICOS CITADOS NA METODOLOGIA.....	89
---	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva representativa da cinética de secagem.....	21
Figura 2.2: Secador do tipo rotatório direto com cascadeamento.	24
Figura 2.3: Secador rotatório convencional (a) e roto-aerado (b).	26
Figura 3.1: Resíduos do processamento da acerola.	28
Figura 3.2: Estrutura para medição do ângulo de repouso estático.	30
Figura 3.3: Estrutura para medição do ângulo de dinâmico de repouso.....	30
Figura 3.4: Analisador de umidade por infravermelho IV 2500 da GEHAKA.....	35
Figura 3.5: Aparato experimental disponível para os experimentos de secagem.....	36
Figura 3.6: Distribuição de mini-tubos no secador roto-aerado.	37
Figura 4.1: Representação dos diâmetros das partículas.	43
Figura 4.2: Diâmetros das sementes de acerola obtidos no Camsizer.....	44
Figura 4.3: Características do resíduo de acerola obtidos no Camsizer.	44
Figura 4.4: Calor específico dos resíduos de acerola.	46
Figura 4.5: Cinética de secagem do resíduo de acerola sem tratamento em infravermelho.....	48
Figura 4.6: Cinética de secagem do resíduo de acerola com etanol em infravermelho.	49
Figura 4.7: Cinética de secagem do resíduo de acerola com ultrassom em infravermelho.....	49
Figura 4.8: Cinética de secagem do resíduo de acerola com ultrassom em infravermelho.....	50
Figura 4.9: Ácido ascórbico (AA) em função da temperatura de secagem.	51
Figura 4.10: Ácido cítrico (TA) em função da temperatura de secagem.	52
Figura 4.11: Fenólicos totais (TPC) em função da temperatura de secagem.	53
Figura 4.12: Flavonoides (TFC) em função da temperatura de secagem.....	53
Figura 4.13: Ácido cítrico (TA) em função da temperatura e do tempo de secagem.....	54
Figura 4.14: Ácido ascórbico (AA) em função da temperatura e do tempo de secagem.	54
Figura 4.15: Fenólicos totais (TPC) em função da temperatura e do tempo de secagem.	55
Figura 4.16: Flavonoides totais (TFC) em função da temperatura e do tempo de secagem. ..	55
Figura 4.17: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola <i>in natura</i>	56
Figura 4.18: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola sem tratamentos.	56
Figura 4.19: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola com etanol.....	57
Figura 4.20: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola com sacarose.	57
Figura 4.21: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola com ultrassom.	57

Figura 4.22: Tempo médio de residência para as diferentes condições do PCC.....	59
Figura 4.23: Taxa de secagem e umidade removida para as diferentes condições do PCC.....	60
Figura 4.24: Taxa de secagem e temperatura dos sólidos para as diferentes condições do PCC.	60
Figura 4.25: Ácido cítrico (TA) para as diferentes condições do PCC.	61
Figura 4.26: Acidez (TA) em função das variáveis de codificação x_1 e x_2	61
Figura 4.27: Fenólicos totais (TPC) para as diferentes condições do PCC.....	62
Figura 4.28: Fenólicos (TPC) em função das variáveis de codificação x_1 e x_2	62
Figura 4.29: Flavonoides totais (TFC) para as diferentes condições do PCC.....	63
Figura 4.30: Flavonoides (TFC) em função das variáveis de codificação x_1 e x_2	63
Figura 4.31: Umidade removida das sementes após a secagem em secador roto-aerado.	65
Figura 4.32: TA nas sementes após a secagem em secador roto-aerado.....	66
Figura 4.33: AA nas sementes <i>in natura</i> e após a secagem em secador roto-aerado.....	66
Figura 4.34: TPC nas sementes <i>in natura</i> e após as secagens no secador roto-aerado.	67
Figura 4.35: TFC nas sementes <i>in natura</i> e após a secagem em secador roto-aerado.	67
Figura 4.36: Umidade removida das sementes de acerola após cada estágio de secagem.	69
Figura 4.37: Ácido ascórbico (AA) nas sementes de acerola após cada estágio.....	69
Figura 4.38: Acidez (TA) nas sementes de acerola após cada estágio.	70
Figura 4.39: Fenólicos totais (TPC) nas sementes de acerola após cada estágio.	71
Figura 4.40: Flavonoides totais (TFC) nas sementes de acerola após cada estágio.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Equações semi-empíricas para cinética de secagem.....	23
Tabela 3.1: Condições experimentais.....	38
Tabela 3.2: Planejamento composto central ($\alpha = 1,267$).....	40
Tabela 4.1: Resultados Camsizer para 50% de volume.....	44
Tabela 4.2: Resultados da regressão múltipla para a resposta calor específico, considerando apenas os efeitos significativos.	45
Tabela 4.3: Dados dos parâmetros para a previsão de Overhults et al. (1973) para os resíduos.	47
Tabela 4.4: Tempos finais (em segundos) das secagens em infravermelho.....	47
Tabela 4.5: Planejamento Composto Central com codificação.....	58
Tabela 4.6: Condições Operacionais.	64
Tabela 4.7: Compostos bioativos no resíduo de acerola do segundo lote.	68

RESUMO

O reaproveitamento dos resíduos agroindustriais é fundamental para evitar o desperdício e, com isso, reduzir o impacto ambiental, social e econômico. Para estas finalidades, uma das alternativas é a secagem e dentre os possíveis secadores, o secador roto-aerado, desenvolvido na FEQUI/UFU. Este secador proporciona um melhor contato fluído-partícula do que o secador rotatório convencional, devido a uma nova forma de disposição do ar de secagem, aumentando os coeficientes de transferência de calor e massa e, como consequência, reduzindo o consumo energético. Neste trabalho, foi realizada a caracterização do resíduo de acerola que mostrou que estes possuíam compostos antioxidantes que viabilizavam a secagem dos mesmos. As secagens em infravermelho permitiram observar o efeito benéfico do etanol pulverizado sobre a superfície das sementes de acerola. Este pré-tratamento favoreceu tanto a secagem quanto os teores de fenólicos e flavonoides após a secagem. Nas secagens em secador roto-aerado, este pré-tratamento mostrou-se favorável para condições operacionais mínimas, isto é, temperatura e velocidade do ar de secagem iguais a 80°C e 1,5 m/s. No entanto, para as condições intermediárias (115°C e 2,25 m/s) e extremas (150 °C e 3,0 m/s) este pré-tratamento não implicou em aumentos significativos da remoção de umidade. A secagem do resíduo de acerola sem pré-tratamento, em secador roto-aerado, mostrou que o uso deste equipamento é uma boa alternativa para a secagem destes resíduos. O qual possibilitou a remoção de umidade de até 45,8% , na condição de 159,3°C e 2,25 m/s. Sendo que o tempo de residência das sementes de acerola no secador foi de 3,2 min. Para a condição extrema de secagem (150 °C e 3,0 m/s) foram necessárias apenas três passagens das sementes no secador para a umidade final igual a 6,7%. Além do que, este secador roto-aerado gera um produto final homogêneo devido ao elevado grau de mistura e é capaz de processar elevado volume de material. Observou-se também que os teores de compostos bioativos, com exceção dos teores de ácido cítrico, foram superiores nas sementes após a secagem.

Palavras-chave: secagem, resíduo de acerola, secador roto-aerado.

ABSTRACT

The reuse of agroindustrial residues is essential to avoid the waist, which implies less social, economical and environmental impacts. Therefore, one alternative is the process of drying, in which one possible type of dryer is roto-aerated dryer, developed in FEQUI/UFU. It provides a better contact between the particles and the fluid (air) than conventional rotator dryer, because of the new arrangement of the drying air that raises heat and mass transfer coefficients, reducing the energy requirement. In this work, the acerola residue's characterization showed the presence of antioxidant compounds, that turns viable its drying process. Infrared drying process allowed to observe the benefic effect of pulverized ethanol over acerola seeds' surfaces, a pre-treatment that brought good results to drying process as well as phenolic and flavonoids contents after the process. In roto-aerated dryings this pre-treatment was favorable to minimum operational conditions, that represents temperature and air velocity equal to 80 °C and 1.5 m/s. However, for intermediate conditions (115 °C and 2.25 m/s) and extreme conditions (150 °C and 3.0 m/s) this pre-treatment didn't imply significant increases of humidity removal. The drying of acerola residues without pre-treatments in roto-aerated dryers showed that this equipment is a good alternative for its drying, which allowed until 45,8% humidity removal in a 159 °C and 2.25 m/s condition, with 3.2 min of residence time of the acerola seeds in the dryer. For the extreme condition (150 °C and 3.0 m/s) only three passages of the seeds were necessary in the dryer, so that the final humidity was 6.7%. Furthermore, this dryer generates a homogeneous final product because of the high level of mixture, which is capable of processing a high volume of material. It was also observed that bioactive compounds, except citric acid ones, were higher in the seeds after the drying process than before it.

Keywords: drying, acerola residue, roto-aerated dryer.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, sua produção superou 43 milhões de toneladas em 2008, segundo o Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF), sendo também o maior produtor de frutas tropicais. Apesar dos dados serem datados de 2008, é possível ter a dimensão de produção de frutas no Brasil. Estima-se que 40% do volume processado sejam resíduos os quais podem, em grande parte, ser recuperados se houver conscientização dos empresários, estudos que destaquem seu o valor nutricional e suas possíveis aplicações.

A promoção da alimentação saudável é considerada um eixo prioritário de ação para garantia da saúde. O homem tem a necessidade de ter uma alimentação que seja rica em nutrientes (GONDIM et al., 2005). Levando em consideração que os alimentos separadamente, na sua grande maioria, são incompletos para atender as necessidades humanas, é necessário variá-los e completá-los, pela utilização de partes que normalmente são desprezadas, aumentando assim o valor nutricional (GALEAZZI et al., 1999).

Entre as frutas processadas destaca-se a acerola (*Malpighia emarginata* D. C.), ou Cereja das Antilhas, que possui elevada concentração de vitamina C (2500 a 4500 mg / 100 g de polpa), são ricas em antioxidantes, tocoferóis, carotenóides, compostos fenólicos e têm demonstrado eficaz atividade antioxidante em sistemas modelos. Segundo Podsedex (2007) os benefícios à saúde promovidos pelos compostos fenólicos, são o que fazem eles serem um dos principais compostos bioativos. Os flavonoides possuem propriedades bioquímicas e farmacológicas, atividades antioxidantes, anti-virais, anti-carcinogênicas e anti-inflamatória. O ácido cítrico ajuda na absorção e quebra das gorduras, além de regular os níveis de pH do corpo. Já o ácido ascórbico é uma das vitaminas mais importantes por prevenir o escorbuto.

No caso do resíduo da acerola, estima-se que aproximadamente 34,4 mil toneladas desse fruto por ano são processadas nas indústrias brasileiras (ALDRIGUE et al., 2002). As acerolas processadas geram, aproximadamente, 18 mil toneladas de sucos e polpas por ano, concentrando-se esta produção na região Nordeste (FREITAS et al., 2006). O sucesso da industrialização da acerola é creditado à quantidade de polpa comestível que a fruta produz e o restante (bagaço, casca e sementes) que representa entre 15% e 41% do volume total de todo o fruto processado é desprezado no processo fabril. Tal descarte representa custo operacional

para as empresas (AGUIAR et al., 2010; VASCOCELOS et al., 2002) e ocorre geralmente sem a devida atenção. No entanto, estudos mostraram que estes resíduos da acerola apresentam elevados teores de compostos bioativos (DUZZIONI et al., 2013) evidenciando a necessidade de aproveitamento destes e a possibilidade da incorporação dos mesmos na alimentação humana seja na forma de farinhas, barras de cereais, *cookies*, entre outros.

Sendo assim, visando à conservação dos alimentos, uma vez que muitos deles sofrem fácil deterioração, a secagem é um dos métodos mais utilizados. Nessa perspectiva, destacam-se os secadores rotatórios para a secagem de resíduos de frutas, por terem altas capacidades de processamento.

Os secadores rotatórios de contato direto consistem de um cilindro levemente inclinado em relação à horizontal que gira em torno do seu eixo longitudinal. Nesse tipo de secador, o material úmido é introduzido na entrada superior do cilindro e o produto seco é retirado na parte inferior, sendo que o deslocamento do material ocorre devido à inclinação do tambor e à alimentação constante de material úmido. A região interna dos secadores rotatórios convencionais é equipada com suspensores, cuja finalidade é coletar o material particulado no fundo do tambor e transportá-los por certa distância ao redor da periferia do casco e lançá-los em cascata através de uma corrente de gás quente. A maior parte da secagem ocorre quando os sólidos estão em contato direto com o gás, ou seja, quando eles são “cascateados” pelos suspensores. A ação dos suspensores também é, em parte, responsável pelo transporte das partículas ao longo do secador.

Objetivando aumentar a eficiência de secagem, outra configuração do secador rotatório foi desenvolvida na FEQUI/UFU, conhecida como secador roto-aerado, que foi avaliada primeiramente por Lisboa et al. (2007), posteriormente por Arruda (2008) e por Silvério (2012). No secador roto-aerado, o ar quente entra em contato com as partículas depois de percorrer um tubo central contendo mini-tubos, por onde o ar sai em contato direto com o material sólido melhorando dessa forma o contato fluido-partícula, e consequentemente proporcionando elevados coeficientes de transferência de calor e massa. Como consequência, dos fatos que acabam de ser destacados, possibilita uma redução do consumo energético, quando comparado com o equipamento convencional.

Nos trabalhos prévios supramencionados, os autores trabalharam apenas com fertilizantes (super fosfato simples granulado, SSPG), sendo que a proposta deste trabalho foi avaliar a secagem de resíduos de acerola no secador roto-aerado, realizando a quantificação

dos compostos bioativos nos resíduos de acerola antes e após a secagem. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram:

- Avaliar a secagem de resíduos de acerola em secador roto-aerado;
- Analisar os efeitos da secagem, em secador roto-aerado, sobre os teores de compostos bioativos;
- Avaliar o efeito de pré-tratamentos das sementes de acerola sobre a secagem convectiva;
- Avaliar os efeitos da realimentação dos resíduos de acerola ao secador roto-aerado.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica para embasar os estudos realizados neste trabalho. Dessa forma, foi apresentado o resíduo de fruta utilizado, considerando a sua fonte, a composição e a aplicabilidade. Posteriormente, foram discutidos métodos que possibilitam a conservação deste material. Dentre os quais, o utilizado neste trabalho, isto é, a secagem dos resíduos de acerola em secador roto-aerado.

2.1- Acerola

A acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) também conhecida como Cereja das Antilhas foi encontrada na sua forma natural nas Ilhas do Caribe, ao Norte da América do Sul, na América Central e no México. Há controvérsias quanto à vinda do fruto para o Brasil, mas segundo Barboza et al., 2006, em 1955, a professora Maria Celene Cardoso de Almeida da Universidade Federal Rural de Pernambuco trouxe de Porto Rico sementes que, posteriormente, foram multiplicadas e distribuídas em pequenas quantidades para vários locais do Nordeste e outras regiões do País. Seus plantios, porém, ganharam expressão econômica somente a partir da década de 90, com o aumento da demanda do produto tanto pelo mercado interno como externo, estando hoje difundidas em praticamente todo o território nacional, à exceção de regiões de clima subtropical e/ou de altitude, sujeitas a baixas temperaturas (OLIVEIRA et al., 1998).

A acerola se destaca por possuir elevada concentração de vitamina C (2500 a 4500mg/100g de polpa), além de vitamina A, ferro, cálcio, vitaminas do complexo B e de antocianinas que destacam este fruto no campo dos nutracêuticos, pela capacidade desses capturar radicais livres do organismo. Segundo Nogueira (2002), o teor de vitamina C e outras características atribuídas à qualidade da acerola, tais como coloração, peso e tamanho dos frutos, teor de sólidos solúveis e pH do suco, além de serem afetadas pela não uniformidade genética dos pomares, sofrem influência de vários outros fatores, como precipitações pluviais, temperatura, altitude, adubação, irrigação e a ocorrência de pragas e doenças. Neste mesmo trabalho, concluiu-se que o estágio de maturação é determinante na concentração de vitamina C da acerola sendo que este conteúdo decresce com a maturação do fruto, ou seja, os frutos

verdes apresentaram valores superiores aos encontrados nos frutos maduros, independentemente da matriz estudada e da estação climática.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vendramini (2000) cuja concentração de vitamina C para a acerola madura foi 1074 mg de ácido ascórbico / 100 g de amostra, enquanto que para acerola semimadura e verde foram respectivamente, 1065 e 2164 mg de ácido ascórbico / 100g de amostra.

Além do seu conteúdo vitamínico, a acerola tem despertado a atenção dos agricultores em detrimento a outras frutíferas por seu potencial para industrialização, uma vez que pode ser consumida sob forma de sucos, compotas, geleias, utilizada no enriquecimento de sucos e de alimentos dietéticos, na forma de alimentos nutracêuticos, como comprimidos ou cápsulas, empregados como suplemento alimentar, chás, bebidas para esportistas, barras nutritivas e iogurtes.

No mercado externo ela também se destaca. O Japão foi o primeiro país a se interessar pela acerola como *commodity*, criando mais de 12 produtos tais como suco, água de acerola, refrigerantes, etc., sendo o elemento motivador o teor de vitamina C. Países tais como a França, os EUA, a Alemanha também são fortes consumidores nos quais há uma tendência a uma alimentação mais saudável (BARBOZA et al., 2006).

No Brasil, a área plantada com acerola ultrapassa 10000 ha, com a produção em torno de 33000 t de frutos, oriundos, especialmente, da Região Nordeste e do Estado de São Paulo. Cabe acrescentar que os pomares brasileiros são formados, basicamente, por plantas, em geral, ainda jovens e com elevada heterogeneidade genética, sendo, portanto, bastante desuniformes e, conseqüentemente, pouco produtivos. Com a introdução, em nossos sistemas de cultivo, de genótipos agronomicamente superiores, acompanhada do emprego de técnicas adequadas de manejo cultural, a produtividade média poderá ser substancialmente aumentada, podendo-se prever valores em torno de 50 t/ha. Desse modo, o volume de produção de acerola no Brasil apresenta um grande potencial de crescimento, sem a necessidade de expansão das áreas de cultivo atuais (EMBRAPA, 2009).

Sabendo-se que os resíduos do processamento da acerola representam cerca de 40% do volume de produção, tem-se a dimensão do volume de resíduos que são, geralmente, desprezados quando poderiam ser utilizados como fontes alternativas de nutrientes. Este aproveitamento pode aumentar o valor nutritivo da dieta de populações carentes, bem como solucionar deficiências dietéticas alimentares (SANTOS et. al, 2010).

Uma forma de reaproveitar o resíduo é por meio da secagem, a qual garante a conservação do material por inativar os microrganismos patogênicos e ainda ser capaz de manter a maioria das propriedades naturais do alimento. Contudo, por se tratar de um tratamento térmico tem-se que precaver de não deteriorar as substâncias termolábeis.

2.2- Alimentos funcionais

O termo “alimentos funcionais” foi primeiramente introduzido no Japão, na década de 1980, e se refere aos alimentos processados que contêm ingredientes que auxiliam funções específicas do corpo além de serem nutritivos, são definidos como “Alimentos para o uso específico da saúde”. O Comitê de Alimentos e Nutrição do Instituto de Medicina da FNB (Federação Náutica de Brasília) define alimentos funcionais como qualquer alimento ou ingrediente que possa proporcionar um benefício à saúde, além dos nutrientes tradicionais que eles contêm (HASLER, 1998).

Entre os compostos com propriedades funcionais em alimentos, destacam-se os antioxidantes, que ajudam a proteger o organismo humano contra o estresse oxidativo. Um antioxidante pode ser definido como qualquer substância que, quando presente em baixas concentrações comparadas à de substrato oxidável, retarda significativamente ou inibe a oxidação daquele substrato. O organismo humano possui mecanismos de proteção de antioxidantes para contrabalancear a carga de pró-oxidantes produzidas pelo mesmo (SIES, 1991). Além dos antioxidantes produzidos pelo próprio organismo, existem também compostos providos pela dieta que, por suas propriedades estruturais, possuem atividade antioxidante. Entre os principais antioxidantes providos pela dieta, destacam-se o ácido ascórbico, os carotenoides e os compostos fenólicos (DIPLOCK et al., 1998).

As reações de oxidação produzem radicais livres, espécies químicas que contêm pelo menos um elétron desemparelhado e, em função disso, são muito instáveis e reativos (FRANKEL, 1996). A oxidação ocorre mesmo sob condições fisiológicas, a própria respiração é um processo oxidativo. No entanto, uma superoxidação ou uma falha nos mecanismos de defesa antioxidante podem fazer com que os radicais livres tomem os elétrons das gorduras e das proteínas da membrana celular que, ao ser danificada, não poderá cumprir suas funções, tornando impossível o processo de regeneração e reprodução celular.

Os radicais livres contribuem para o envelhecimento, por se associar a elétrons do tecido colágeno da pele e, como resultado perde sua elasticidade, enrugando e envelhece. Podem

também contribuir para o crescimento anormal das células ao perderem a capacidade de reconhecer as células vizinhas. Isto provoca uma proliferação descontrolada, que é o início da produção de tumores benignos e malignos. Os antioxidantes agem interagindo com os radicais livres antes que ocorram as reações em cadeia ou prevenindo a ativação do oxigênio a produtos altamente reativos. (RATNAM et al., 2006).

Evidências epidemiológicas têm mostrado que existe uma correlação inversa entre o consumo regular de frutas e hortaliças e a prevalência de algumas doenças degenerativas (TEMPLE, 2000). O efeito protetor exercido por estes alimentos tem sido atribuído à presença dos compostos antioxidantes.

Neste contexto, destaca-se a acerola por possuir altos teores de duas classes de compostos altamente antioxidantes: o ácido ascórbico e as antocianinas, que são compostos fenólicos pertencentes à classe dos flavonoides que por sua vez configuram uma subclasse dos fenólicos. Estudos com o resíduo do processamento da acerola mostraram que o enriquecimento de barras de cereais com a farinha proveniente deste resíduo obteve elevação dos teores bioativos e aceitação do consumidor no que se refere à palatabilidade (MARQUES, 2013).

2.3- Compostos bioativos

2.3.1- Ácido ascórbico

James Lind, médico escocês da Marinha Britânica, foi o primeiro a correlacionar a alta morbidade e mortalidade dos marinheiros ingleses com a deficiência da vitamina C (LIND, 1953 apud MANELA-AZULAY, 2003).

Essa deficiência é a causa do escorbuto cujos sintomas são sangramento e inflamação gengival com consequente perda dos dentes, inflamação e dor nas articulações, queda de cabelos e pode inclusive desencadear anemia devido a pequenas hemorragias.

O primeiro isolamento e a identificação química do “fator antiescorbuto” denominado da vitamina C foram obtidos pelo cientista húngaro Albert Szent-Györgyi (1893-1986), em 1928, que trabalhava com a natureza das oxidações dos nutrientes e sua relação com a produção de energia. Ele isolou um fator redutor de glândulas supra-renais em forma cristalina, o qual ele batizou de “ácido hexurônico”, um derivado da -D-glicose, cuja fórmula empírica é $C_6H_8O_6$. Na mesma época, em 1932, Charles Glen King (1896-1988) e W. A.

Waugh, da Universidade de Pittsburg, encontraram um composto idêntico no suco de limão. Pouco depois, em 1933, os químicos ingleses Sir Walter Norman Haworth (1883-1950) e Sir Edmund Hirst (1898-1975) anunciaram a estrutura da vitamina C e sugeriram, em conjunto com Szent-Györgyi, a mudança do nome para ácido L-ascórbico, por inferência às suas propriedades antiescorbúticas (em 1965 a IUPAC confirmou o uso dos nomes ácido ascórbico ou ácido L-ascórbico para a vitamina C). No mesmo ano de 1933, o químico polonês Tadeus Reichstein (1897- 1996) e colaboradores publicaram as sínteses do ácido D-ascórbico e do ácido L-ascórbico que, ainda hoje, formam a base da produção industrial de vitamina C. Ficou provado que o ácido L-ascórbico sintetizado possuía a mesma atividade biológica da substância isolada de tecidos naturais. Em 1937, Haworth (Química) e Szent-Györgyi (Medicina) foram agraciados com o prêmio Nobel por seus trabalhos com a vitamina C.

O cientista Linus Pauling gerou muita controvérsia ao afirmar que altas doses diárias de vitamina C poderiam estar associadas ao tratamento profilático de doenças como a gripe e o câncer. Pauling praticava o que pregava, tendo gradualmente aumentado sua suplementação diária de vitamina C de 3 g/dia, nos anos 60, para 18 g/dia nos anos 90.

A vitamina C inclui-se no grupo das vitaminas hidrossolúveis e, como a maioria destas, não se armazena no corpo sendo eliminada em pequenas quantidades através da urina. Por este motivo, é importante a sua administração diária, já que é mais fácil que se esgotem as suas reservas do que as das outras vitaminas lipossolúveis. O ácido ascórbico (2,3-enediol-L-gulônico) é um sólido branco ou amarelado, cristalino com ponto de fusão de 190 a 192°C, massa molecular 176,13 g/mol, densidade 1,65 g/cm³, acidez (pKa): 4,17 (primeira), 11,6 (segunda) bastante solúvel em água e etanol absoluto, insolúvel nos solventes orgânicos comuns, como clorofórmio, benzeno e éter, tem sabor ácido com gosto semelhante ao suco de laranja. No estado sólido é relativamente estável. No entanto, quando em solução, é facilmente oxidado, em reação de equilíbrio ao ácido L – dehidroascórbico (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Por apresentar atividade antioxidante, a vitamina C é a primeira linha de defesa contra radicais derivados do oxigênio em meio aquoso. Essa vitamina reage diretamente com superóxidos, radicais hidroxilas e oxigênio singlete. Tem grande importância fisiológica devido à sua participação em diversos eventos no organismo, como formação de tecido conjuntivo, produção de hormônios e anticorpos, biossíntese de aminoácidos e prevenção de escorbuto. É considerado um antioxidante fisiológico versátil, pois pode exercer ação nos compartimentos intra e extracelulares (BENDICH e LANGSETH, 1995).

O ácido ascórbico está ainda associado à regulação do colesterol, diminuição da concentração de chumbo no sangue, autismo, aumento da fertilidade e diminuição da suscetibilidade ao câncer (PEREIRA, 2008).

No ser humano adulto sadio, a reserva de ácido ascórbico é de aproximadamente 1500 mg com uma ingestão média diária de 45 a 75 mg. Quando não ocorre a ingestão desta vitamina, aproximadamente 3% das reservas são diminuídas diariamente e os sintomas clínicos do escorbuto aparecem em 30 a 45 dias, quando a reserva orgânica cai abaixo de 300 mg (GUILLAND e LEQUEU, 1995).

O consumo da vitamina C como suplementação ocorre principalmente pela ingestão de cápsulas e comprimidos efervescentes, mas há um mercado potencial de enriquecimento de alimentos, principalmente na formulação de sucos em pó, bebidas isotônicas e outros produtos de frutas, como sorvetes, doces e geleias. O crescimento do interesse do consumidor na ligação entre dieta e saúde tem causado uma grande demanda de informação e produtos. Entre os fatores que aceleram o interesse nos alimentos estão: os avanços na ciência e tecnologia, o aumento dos gastos destinados à saúde, o envelhecimento da população, e um maior enfoque nos benefícios atingidos através da dieta.

2.3.2- Ácido cítrico

O ácido cítrico (ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico), $C_3H_5O(COOH)_3$, foi o primeiro ácido isolado em 1784 pelo químico sueco Carl Wilhelm Scheele, que o cristalizou a partir do suco do limão. É um sólido cristalino branco, inodoro, de sabor levemente ácido, de massa molecular 192,13 kg/kmol, ponto de fusão de 153°C e temperatura de decomposição térmica de 175°C (ARAÚJO, 2009). É um ácido orgânico fraco, que pode ser encontrado nos frutos cítricos e é usado como conservante natural. Oliveira (2009) estudou a solubilidade do ácido cítrico em misturas hidro-alcoólicas, este autor observou que este ácido é solúvel em água e na temperatura de 293,7 K, a solubilidade foi igual a 59,78 g de produto anidro por 100 g de solução saturada. Enquanto em etanol, à 294,2 K, a solubilidade foi de 57,93 g de produto anidro por 100 g de solução saturada. A solubilidade deste ácido, em água, é função direta da temperatura.

O ácido cítrico é um acidulante versátil, tendo como características alta solubilidade, capacidade antioxidante além de ser um agente quelante. É usado juntamente com ácido ascórbico para formar quelatos de baixo peso molecular com ferro aumentando, assim, sua

absorção pelo organismo, quelar pro-oxidantes, os quais podem causar rancidez, e também para inativar enzimas como polifenoloxidase

Na indústria alimentícia é utilizado em larga escala como acidulante e antioxidante por apresentar sabor agradável, baixa toxicidade e alta solubilidade. Auxilia na retenção da carbonatação, potencializa os conservantes, confere sabor “frutal” característico, prolonga a estabilidade da vitamina C, realça aromas e tampona o meio. É utilizado ainda, devido à sua capacidade de complexação com metais pesados, como estabilizante de óleos e gorduras para reduzir a sua oxidação catalisada por estes metais.

2.3.3- Fenólicos

Os compostos fenólicos são importantes metabólitos secundários sintetizados por plantas durante o desenvolvimento normal e em resposta a condições de estresse. São, portanto, encontrados em alimentos como frutas e vegetais que são consumidos rotineiramente em nossa dieta. Esses compostos contribuem para qualidades sensoriais, como cor, *flavour* (impressão sensorial determinada pelas sensações de sabor e aroma) e sabor de frutas e vegetais frescos e seus produtos. Além disso, muitos fenólicos apresentam atividades antioxidante, antialérgica, anticarcinogênica, antimicrobianas, entre outras (KIM et al., 2003).

As propriedades biológicas dos compostos fenólicos estão relacionadas com a atividade antioxidante que cada fenol exerce sobre determinado meio. A atividade dos antioxidantes, por sua vez, depende de sua estrutura química, podendo ser determinada pela ação da molécula como agente redutor (velocidade de inativação do radical livre, reatividade com outros antioxidantes e potencial de quelação de metais). Alguns estudos *in vitro* demonstraram que a atividade antioxidante dos flavonoides é maior que as das vitaminas E e C (RICE-EVANS et al., 1996).

Quimicamente, os compostos fenólicos são substâncias que possuem um anel aromático com um ou mais grupos hidróxidos, incluindo derivados funcionais. Os polifenóis variam desde moléculas simples, como ácidos fenólicos, até compostos polimerizados, como os taninos (MARTINEZ-VELVERDE et al., 2000).

Os compostos fenólicos são biossintetizados por meio de diferentes rotas, razão pela qual constituem um grupo bastante heterogêneo do ponto de vista metabólico. Duas rotas metabólicas básicas estão envolvidas na síntese de compostos fenólicos: a rota do ácido chiquímico, que participa na biossíntese da maioria dos fenóis vegetais, e a rota do ácido

melônico que embora seja uma fonte importante de produtos secundários fenólicos em fungos e bactérias, é menos significativa nas plantas superiores (TAIZ e ZEIGER, 2004).

A rota do ácido chiquímico converte precursores de carboidratos derivados da glicólise e da rota da pentose fosfato em aminoácidos aromáticos (HERRMAN e WEAVER, 1999). Um dos intermediários dessa rota é o ácido chiquímico, que dá o nome a sequência de reações. A classe mais abundante de compostos fenólicos secundários em plantas é derivada da fenilalanina, por meio da eliminação de uma molécula de amônia para formar o ácido cinâmico. Essa reação é catalisada pela fenilalanina amonialiase (PAL), a qual está situada em um ponto de ramificação entre os metabolismos primário e secundário, de forma que a reação que ela catalisa é uma etapa reguladora importante na formação de muitos compostos fenólicos. A atividade da PAL é aumentada por fatores ambientais, tais como baixos níveis de nutrientes, luz e infecções por fungos. O ponto de controle parece estar no início da transcrição. A invasão de fungos, por exemplo, desencadeia a transcrição do RNA mensageiro que codifica a PAL, aumentando a quantidade de PAL na planta, o que, estimula a síntese de compostos fenólicos. As reações subsequentes às aquelas catalisadas pela PAL levam à adição de mais grupos hidroxilas e outros substituintes. Os ácidos transcinâmico e p-cumárico e seus derivados são compostos fenólicos simples chamados fenilpropanóides, que são unidades básicas para a formação de compostos fenólicos mais complexos.

Os principais compostos fenólicos identificados na dieta humana, classificados de acordo com o número de átomos de carbono do esqueleto base são: o grupo dos ácidos fenólicos, os flavonoides e os compostos poliméricos, lignina e taninos.

2.3.4- Flavonoides

Os flavonoides constituem o mais importante e diversificado grupo de compostos fenólicos e podem ser divididos nos seguintes subgrupos: antocianinas (cianidina, delphinidina), flavanas (catequina, epicatequina, luteoforol, procianidina, theaflavina), flavanonas (hesperidina, naringenina), flavonas (apigenina, luteolina, diomestina, tangeritina, nobiletina, tricetina), flavonóis (quercetina, rutina, miricetina) e isoflavonoides (daidzeína, genisteína) (LOPES et al., 2000).

A maioria dos representantes desta classe possui 15 átomos de carbono no seu núcleo fundamental, constituído de duas fenilas, ligadas por uma cadeia de três carbonos entre elas.

A estrutura dos flavonoides consiste de esqueleto de difenil propano ($C_6-C_3-C_6$) com dois anéis benzênicos (A e B) ligado a um anel pirano (C) (BEHLING et al., 2004).

A atividade biológica dos flavonoides e de seus metabólitos depende de sua estrutura química e dos vários substituintes da molécula, uma vez que a estrutura básica pode sofrer uma série de modificações, tais como, glicolização esterificação, amidação, hidroxilação, entre outras alterações que irão modular a polaridade, toxicidade e direcionamento intracelular destes compostos.

A capacidade dos compostos fenólicos é determinada pela estrutura, em particular, pela facilidade na qual o átomo de hidrogênio, de um grupo aromático hidroxil, pode ser doado a um radical livre e a habilidade de um composto aromático suportar um elétron desemparelhado como resultado do deslocamento ao redor do sistema M-elétron.

Os flavonoides juntamente com as vitaminas C estão relacionados com a inibição da peroxidação lipídica. Ao contrário da vitamina C que se encontra na fase aquosa os flavonoides, por serem hidrofílicos, podem ser encontrados tanto na fase aquosa quanto na camada fosfolipídica. Dessa forma, os flavonoides podem bloquear os mecanismos de iniciação de radicais na interface das membranas, prevenindo a progressão da formação dos radicais em cadeia, prevenindo a lipoperoxidação. Existe uma grande controvérsia se os flavonoides glicolisados são ou não absorvidos no corpo humano. A forma que é absorvida é a forma aglicona. Em geral, é considerado que os flavonoides glicolisados são absorvidos como agliconas depois de sofrer um processo prévio de hidrólise no interior do trato digestivo (GOMES, 2010).

O interesse econômico dos flavonoides é decorrente de suas diferentes propriedades. Ensaio biológicos usando combinações isoladas revelam que os flavonoides exibem uma grande ação sobre os sistemas biológicos demonstrando efeitos antimicrobiano, antiviral, antiulcerogênico, citotóxico, antineoplásico, antioxidante, anti-hepatotóxico, anti-hipertensivo, hipolipidêmico, anti-inflamatório, anti-plaquetário. Também demonstrou aumento na permeabilidade capilar, inibição da exudação protéica e migração de leucócitos (PELZER et al., 1998). Estes efeitos podem estar relacionados às propriedades inibitórias que os flavonoides desempenham nos vários sistemas enzimáticos incluindo hidrolases, isomerases, oxigenases, oxidoredutases, polimerases, fosfatases, proteínas fosfoquinas e aminoácido oxidases (FERGUSON, 2001).

2.4- Conteúdo de água, Atividade de água e Isotermas de dessorção

A água é um dos principais componentes da maioria dos alimentos e está associada à consistência do produto. Contudo, é o principal causador da deterioração por microrganismo e alterações por reações químicas e enzimáticas. Dessa forma, é necessário encontrar a melhor condição que garanta um produto palatável e com vida útil elevada.

Nos alimentos, a água existe sob duas formas: água livre e água combinada, sendo a água total a soma dessas duas parcelas. A água livre (ou água não ligada) está presente nos espaços intergranulares e entre poros do alimento. Essa água mantém suas propriedades físicas e serve como dispersante para substâncias coloidais e como solvente para compostos cristalinos. A água livre é conhecida como atividade de água (A_w) e corresponde à relação entre a pressão parcial de vapor de água (P_v), pois, na operação de secagem, a água é retirada do alimento por meio de uma fase gasosa insaturada, e a pressão de vapor de água saturado (P_s), à mesma temperatura, Equação 2.1.

$$A_w = \frac{P_v}{P_s} \quad (2.1)$$

Ao passo que a água combinada interage diretamente com as moléculas constituintes do alimento, não podendo ser removida ou utilizada para qualquer tipo de reação. No caso de um substrato que apresente baixa atividade de água, há interrupção do metabolismo dos microrganismos presentes, inibindo o seu desenvolvimento ou reprodução. Esta água combinada é a soma de água absorvida e água ligada. A primeira está presente na superfície das macromoléculas como amido, pectina, celulose e proteína por forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio. A água de hidratação ou ligada está associada quimicamente com outras substâncias do alimento e não é eliminada na maioria dos métodos de determinação de umidade (GAVA, 2000).

Em temperatura constante, existe uma relação entre a A_w de um alimento e a umidade relativa de equilíbrio do ar (URE), expresso em porcentagem, no ambiente fechado em que se encontra e, portanto é sempre cem vezes maior que o valor da A_w .

$$A_w = \frac{URE}{100} \quad (2.2)$$

A atividade de água ou *URE* é um dos parâmetros mais importantes na conservação de alimentos, tanto no aspecto biológico como nas transformações físicas. Neste sentido, podem ser previstas reações de oxidação lipídica, escurecimento não enzimático, atividade enzimática, desenvolvimento de microrganismos, assim como o comportamento de misturas de alimentos com diferentes valores de atividade de água e sistemas de embalagem (NETO, 1976).

O comportamento microbiano frente à A_w quanto à disponibilidade de água livre é extremamente variável, sendo as bactérias mais exigentes, em relação aos fungos e as leveduras. Os substratos com teor de atividade de água inferior a 0,6 estão dificilmente propícios ao crescimento microbiano e, a partir de 0,65, inicia a proliferação de microrganismos específicos, sendo 0,75, somente algumas bactérias halófitas, leveduras e fungos xerofílicos podem se desenvolver (GARCIA, 2004).

Existem diversas técnicas de determinação da A_w . Entretanto, todos os métodos empregados requerem fontes padrões de referência de pressão de vapor na faixa de interesse, para a calibração dos equipamentos. Utilizam-se soluções saturadas de sais, com A_w na faixa de 0,1 e 1,0 e o método pode ser direto ou indireto. O método indireto utiliza o Higrômetro Eletrônico de fibra e fundamenta-se na capacidade que a lâmina higroscópica de cloreto de lítio tem de alterar sua resistência elétrica ou condutância, pela mudança de umidade relativa, no espaço porta-amostra. Essa mudança de resistência é medida em termos de corrente elétrica, que atravessa o sensor, conectado ao potenciômetro, com uma escala calibrada em função da A_w . Dentre estes medidores, destaca-se o equipamento *Novasina Thermoconstanter Humitat*, de fabricação suíça. Este aparelho, quando convenientemente calibrado com sais, proporciona medidas precisas, respondendo rapidamente às mudanças de umidade relativa. O tempo de equilíbrio é em torno de 30 min e tem sido recomendado para medições da atividade de água de alimentos (LEISTNER e RODEL, 1975; PRIOR, 1979; TROLLER e CHRISTIAN, 1978 apud GARCIA, 2004).

Outra maneira de avaliar a atividade de água é através das isotermas de sorção, sendo que quando a pressão de vapor da água contida no ar for maior que a pressão de vapor da água contida no sólido, este retira água do ar até o equilíbrio das pressões de vapor. Este processo é denominado adsorção. Contudo, se a pressão de vapor da água contida no ar for menor que a do produto, este cede água ao ar, num processo denominado dessorção.

As isotermas de sorção é uma curva que indica o conteúdo de água retida pelo alimento em função da umidade relativa do ambiente em que se encontra no equilíbrio e para

uma determinada temperatura e pressão (ORDÓÑEZ et al., 2005). A umidade de equilíbrio pode ser determinada por métodos estáticos ou dinâmicos. No estático, o ar que circunda o sólido não está em movimento, para isto podem ser utilizadas soluções aquosas saturadas de vários sais, ou ainda, soluções aquosas de diferentes concentrações de ácidos. Nos métodos dinâmicos o fluido movimenta-se ao redor do sólido.

De acordo com Almeida (1996), o uso das soluções salinas é mais comum devido à segurança no manuseio e pela facilidade de se manter a umidade relativa constante, que é uma das vantagens deste método, ou seja, se houver evaporação de água, alguns sais precipitam, mas a umidade relativa não varia, e ainda por ser um método conveniente e barato.

Além disso, a maioria dos reagentes está disponível numa pureza razoável, não são voláteis e são bastante estáveis. Mas cuidados devem ser tomados, como evitar uso de soluções em temperaturas próximas do ponto de transição onde novos hidratos são formados, provocando variações de temperatura não lineares. Outra vantagem é que uma solução salina em nível saturado pode liberar ou absorver grandes quantidades de água sem mudar o equilíbrio da umidade. No entanto, o mesmo não é verdade para soluções não saturadas, já que grande mudança na quantidade de água acontecerá e isto altera a concentração e finalmente a umidade relativa. Este fato pode causar dificuldade na preparação de soluções com concentrações exatas (BARROZO, 1995).

2.5- Calor específico

O conhecimento de propriedades físicas é essencial no que se refere às pesquisas com secagem de produtos alimentícios. Essas informações possibilitam o dimensionamento de equipamentos que envolvam transferência de calor e massa.

A secagem de sementes de frutos carnosos, por causa de seu alto teor de umidade inicial, tende a envolver uma grande variação do teor de umidade, de modo que o efeito da umidade sobre as propriedades físicas desta natureza de sementes é de importante consideração na modelagem e simulação de processos. Uma caracterização física mais precisa das sementes em função do teor de umidade contribui para uma análise mais profunda do fenômeno de encolhimento, o qual tende a ocorrer durante a secagem de materiais com alto teor de umidade (PRADO, 2004).

Dentre as propriedades termo-físicas tem-se o calor específico que é uma propriedade definida como a quantidade de energia necessária para elevar, de um grau de

temperatura, uma unidade de massa de uma substância (RIBEIRO et al., 2002). O calor específico de um produto é influenciado pelos seus componentes, teor de umidade, temperatura e pressão. Ele aumenta com o aumento do teor de umidade do material e com o aumento da temperatura (MARQUES, 2008). Contudo, a relação existente entre estas componentes varia para cada material. Uma técnica que pode ser utilizada para determinação do calor específico é por calorimetria de varredura diferencial (DSC). Este método consiste no equilíbrio térmico entre o corpo de calor específico desconhecido e outro corpo de calor específico já determinado. Esta técnica apresenta facilidade, examinando uma ampla faixa de temperatura, embora seja, cara e apresente dificuldades na obtenção de amostras homogêneas (SWEAT, 1995).

2.6- Tratamentos de pré-desidratação

A pré-desidratação é utilizada para a remoção de água da estrutura do material por métodos alternativos que precedem a secagem convectiva. Estes pré-tratamentos podem ser fundamentais do ponto de vista econômico, pois podem proporcionar a redução dos gastos energéticos e a otimização das qualidades do produto da secagem (ALVES et al. 2004). Dentre os métodos, destaca-se a desidratação osmótica que consiste da imersão do material em soluções hipertônicas de algum soluto (sacarose, sal, ácido cítrico, ácido ascórbico, estévia entre outros) que possua maior pressão osmótica e menor atividade de água. O gradiente de concentração entre o material e a solução implica na transferência de água do material para a solução osmótica e soluto desta para o material. Contudo, ocorre também um terceiro fluxo, que é a transferência de solutos (açúcar, ácidos orgânicos e minerais) do produto para a solução. Este não apresenta uma perda quantitativamente significativa, mas é essencial para a qualidade sensorial e nutricional do produto final. As variáveis mais importantes nesse processo são: tipo de solução osmótica, concentração de soluto, temperatura da solução e tempo de imersão (CORRÊA et al., 2008; SILVA et al., 2010). No entanto, este tratamento não implica na redução da atividade de água do material, dessa forma é necessário realizar, posteriormente, a secagem com ar quente (TORREGIANI, 2001).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos para avaliar a desidratação osmótica de frutas com sacarose dentre os quais Almeida (2011) que realizou a desidratação de bananas em solução osmótica de 45, 55 e 65 °Brix. Neste trabalho, o autor concluiu que foi possível desidratar a fruta sem, contudo, reduzir significativamente o teor de fenólicos (retenção de

97%) e a atividade antioxidante. Corrêa et al. (2008) realizaram a desidratação de acerola em solução de sacarose 60% (p/p) na razão frutas/solução de 1/3. Os autores avaliaram a perda de água, o ganho de peso e o encolhimento. Sendo que o ganho de sólidos foi mais significativo no início enquanto a redução de umidade teve o comportamento inverso. A acerola apresentou um encolhimento volumétrico aproximadamente linear com relação ao teor de umidade. Campo (2012) em seu trabalho realizou a desidratação de morangos com soluções de sacarose e concluiu que a imersão em solução 80% por 60 min proporciona o aumento da vida útil do produto. Alves et al. (2004) realizaram a desidratação de acerolas com sacarose e soluções de sacarose e cloreto de sódio. Os autores concluíram que a melhor condição para a desidratação foi a 60°C em soluções de 60% e para soluções sacarose e cloreto de sódio a concentração de 50% de sacarose e 10% de sal.

A limitação da utilização da desidratação osmótica é por esta gerar um grande volume de efluente, o qual deve ser descartado dentro da legislação ambiental. Uma possível alternativa é utilizar este efluente para a produção de aguardentes e licores, através de processos de fermentação e destilação. O efluente, por sua vez, pode ser fermentado aceticamente para a produção de vinagres finos com sabores e aromas de frutas. Outra possibilidade é o aproveitamento para a produção de calda açucarada de frutas (GOMES et al., 2007).

Outro pré-tratamento que tem ganhado notoriedade é o ultrassônico. O ultrassom consiste na propagação de uma onda mecânica com frequência superior a 20000 Hz num meio físico. Essa onda mecânica, no material sólido, produz um deslocamento entre as partículas do material de forma a gerar tensões que podem causar ruptura das células que o compõe, além de formar micro canais, aumentando a difusividade efetiva da água e, conseqüentemente, facilitando a secagem (CALEGARI, 2006).

Fernandes et al. (2008) avaliaram o efeito da desidratação osmótica e do ultrassom na desidratação de melão. Os autores observaram que ambos os tratamentos afetaram a estrutura do material, contudo, o ultrassom não provocou a ruptura das células como aconteceu na osmose. Após o tratamento ultrassônico, observaram a formação de canais microscópicos os quais podem ser responsáveis pelo aumento da difusividade da água.

Jambrak et al. (2007) em trabalhos com couve-flor constataram o efeito benéfico do ultrassom sobre a posterior secagem convectiva. Sendo que o tempo de secagem que sofreu uma maior redução foi para o pré-tratamento com 20 kHz e exposição por 3 min.

Outro método que tem sido estudado para a desidratação de frutas utiliza álcool etílico que é um composto orgânico bem aceito pela indústria alimentícia, sendo considerado pela U.S. *Food and Drug Administration* (2010) como uma substância segura. Santos e Silva (2008) mostraram que a presença de etanol na atmosfera de secagem promoveu uma evaporação de água mais intensa em comparação ao processo convencional. Braga et al. (2010) concluíram que a pulverização de etanol sobre a superfície da fruta era mais eficaz que a atomização do composto na atmosfera.

Tosato (2012) realizou a pré-desidratação de maçãs em etanol, a qual implicou na redução de 4 a 35% no tempo de secagem. As amostras pré-tratadas com etanol apresentaram, no entanto, maior escurecimento e aparentemente estado mais rugoso em relação às amostras sem pré-tratamento com etanol. Ainda segundo o autor, a utilização de etanol como pré-tratamento foi uma técnica com boa aplicação para o controle de variáveis que influenciavam nas características físicas, e provavelmente de aceitação para o consumidor. Além disso, mostrou-se economicamente viável.

2.7- Secagem

A secagem é uma das mais antigas e usuais operações unitárias encontradas nos processos industriais. Consiste de um processo térmico para retirar água ou voláteis de um corpo. Quando um sólido úmido é submetido à secagem térmica dois processos ocorrem simultaneamente, sendo eles, a transferência de energia e a de massa. A transferência de energia (calor) ocorre a partir do ambiente para evaporar a umidade superficial, esta depende de condições externas como temperatura, umidade do ar, fluxo e direção de ar, área de exposição do sólido (forma física) e pressão. E a transferência de massa (umidade) que ocorre do interior para a superfície do material e sua subsequente evaporação devido ao primeiro processo. O movimento interno da umidade no material sólido é função da natureza física do sólido, sua temperatura e conteúdo de umidade (MUJUMDAR et al., 2007).

No entanto, não existe uma única relação teórica que possibilite generalizações para os tratamentos de secagem. Isto porque os materiais são muito diferentes devido à sua composição, estrutura e dimensões. Podendo ser açucarados o que faz com que se forme uma crosta que diminui a velocidade de secagem, outros podem ter a sua superfície afetada pela desidratação, a qual provoca o encolhimento e pode causar fissuras. Além dos materiais que

possuem substâncias termossensíveis que devem ser tratados em condições controladas de temperatura e luminosidade.

Dentre os métodos de secagem, os artificiais são os mais utilizados, com destaque a secagem convectiva, com ar aquecido, que é uma técnica bastante utilizada devido à sua facilidade de uso, simplicidade de equipamentos requeridos e baixo custo em relação aos demais métodos. Os processos de secagem podem ser em batelada ou contínuo, em geral a velocidade do ar está entre 0,5 m/s e 3,0 m/s e em ambientes com baixa umidade relativa (EMBRAPA, 2010).

Esta operação, quando bem realizada, evita deterioração do produto pela ação da umidade, torna o material mais manejável, reduz o custo do transporte, atende às exigências de consumo e favorece um aumento da vida-de-prateleira do produto, que pode ser armazenado à temperatura ambiente, desde que adequadamente acondicionado (SANTOS, 2010). Permite ainda o aproveitamento de materiais considerados resíduos de processamento, os quais possuem elevado potencial alimentício. No entanto, quanto menores as perdas nutricionais mais onerosos são os processos de secagem evidenciando a necessidade de mais estudos de novos equipamentos e otimização dos já existentes.

Alguns estudos já foram realizados com a secagem de resíduos de acerola. Moreira et al. (2008) em seu trabalho visaram produzir um extrato micro encapsulado a partir do extrato do bagaço de acerola utilizando maltodextrina e goma de cajuzeiro como auxiliares de secagem. Os compostos de interesse foram recuperados por prensagem do bagaço diluído em solvente (solução aquosa de ácido cítrico), posteriormente realizaram a secagem em *spray dryer*. As condições mais adequadas de processamento, baseadas não apenas na retenção dos compostos de interesse, mas também nas propriedades físicas dos pós obtidos (solubilidade, higroscopicidade e fluidez) foram as seguintes: temperatura de entrada, 194°C; proporção encapsulante/sólidos de acerola, 4:1; tendo o material encapsulante menos de 80% de goma de cajuzeiro.

Nóbrega (2012) realizou um estudo para avaliar o processo de secagem do resíduo de acerola e o impacto sobre o produto final. Neste trabalho, os autores avaliaram a secagem em secador convectivo de bandejas sob condições controladas de temperatura (60, 70 e 80°C) e velocidade do ar (4,0; 5,0 e 6,0 m/s) e espessura do material (0,5; 0,62 e 0,75 cm) mediante a aplicação de planejamento experimental do tipo fatorial 2^3+3 pontos centrais. Os resultados mostraram a diminuição dos compostos bioativos após a secagem nas condições estudadas. No entanto, a concentração final desses compostos detectada no produto desidratado, bem

como a caracterização colorimétrica e a estabilidade microbiológica alcançada, caracteriza o pó do resíduo de acerola como ingrediente com elevado potencial bioativo.

Marques (2013) estudou o aproveitamento do resíduo de acerola para a produção de farinhas de sementes de acerola (FSA), farinhas de bagaço de acerola (FBA) e a formulação de novos produtos como barras de cereais (BC). As sementes foram secas em estufa ventilada, à temperatura de aproximadamente 45°C e o bagaço foi liofilizado, ambos até peso constante. Foram elaboradas barras de cereais com diferentes concentrações das farinhas de acerola e barras de controle com adição apenas de aveia. Concluiu que as barras de cereais com adição de 12,5% de FSA e 12,5% de aveia integral e as com adição de 12,5% de FBA e 12,5% de aveia integral podem ser consideradas produtos com maior valor nutricional atendendo às exigências do mercado consumidor, com baixo valor energético e teores elevados de fibras alimentares, ferro, além de estarem enriquecidas com substâncias antioxidantes.

Abud e Narain (2009) estudaram a incorporação da farinha de resíduos do processamento de polpa de fruta em biscoitos. Neste trabalho os autores realizaram testes sensoriais para verificar a aceitabilidade dos biscoitos com incorporação de resíduos nos percentuais de 5, 10, 15 e 20% em substituição à farinha de trigo. As secagens foram realizadas em secador tipo cabine com circulação de ar forçada a 55°C até se obter peso constante. Os resíduos foram moídos em moinho de facas e passados em peneira de 20 mesh. Os resultados para os resíduos de acerola apresentaram elevado teor de carboidratos (70,83 g.100g⁻¹). Para as quatro frutas estudadas, obteve-se uma aceitabilidade maior para a incorporação de 10% da farinha dos resíduos aos biscoitos, principalmente com relação ao aroma, ao sabor e à textura.

Bortolotti et al. (2013) realizaram estudos de secagem de resíduos de acerola em leito de jorro. No entanto, o resíduo de acerola tem uma baixa escoabilidade no leito de jorro, devido a sua baixa densidade e umidade elevada. Por isso, os autores optaram por adicionar soja como material de apoio mantendo assim, a estabilidade fluidodinâmica e prevenindo a contaminação física do material, preservando suas características alimentícias. Os resultados mostraram que o teor, em base seca, de vitamina C, fenólicos e flavonoides foram maiores no resíduo seco em relação ao *in natura*. E que esse acréscimo foi observado principalmente nos tempos iniciais da secagem.

Duzzioni et al. (2013) avaliaram a secagem de resíduos de acerola em leito fixo por meio de um estudo fatorial 3² cujas variáveis independentes foram a velocidade do ar (0,5; 1,0 e 1,5 m.s⁻¹) e a temperatura do ar de secagem (40, 50 e 60°C). Ambas variáveis independentes

mostraram-se significativas. O conteúdo de ácido ascórbico foi maior na temperatura de 60 °C e velocidade 1 m/s ($126,2 \pm 0,004 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) enquanto do resíduo *in natura* foi de $16,120 \pm 0,003 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. O teor de compostos fenólicos apresentou maior teor para temperatura de 50°C e velocidade de 1,5 m/s ($46,200 \pm 0,003 \text{ mg ácido gálico} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Os autores destacam ainda, a importância da determinação das condições de secagem sobre a qualidade final do produto.

A secagem de resíduos mostra-se promissora, contudo, para viabilizar este processo são necessários estudos que garantam a retenção dos compostos bioativos, a homogeneidade do produto, que possuam baixo custo de operação e uma capacidade de processamento que atenda o volume de material a ser processado. Neste sentido, a busca por equipamentos para a secagem de resíduos agroindustriais é fundamental.

2.8- Cinética de secagem

Estudos da cinética de secagem possibilitam estabelecer equações das umidades, ou mesmo dos adimensionais de umidade, em função do tempo para os diferentes períodos de taxas de secagens que deve ser relacionado a um determinado produto e a uma determinada operação. Ou seja, cada sólido possui uma curva característica, contudo, de acordo com Foust et al. (1982) os sólidos quando submetidos à secagem tendem a seguir um padrão. A Figura 2.1 apresenta uma curva de cinética de secagem genérica em que as condições operacionais são constantes.

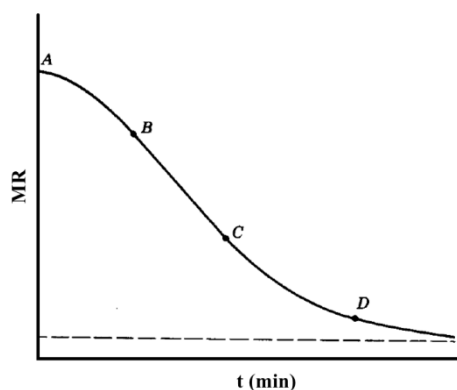


Figura 2.1: Curva representativa da cinética de secagem.

Fonte: Adaptado de Foust et al. (1982).

Nesta figuram merecem as seguintes considerações:

- Trecho AB: Regime não permanente, durante este período o sólido atinge a temperatura do regime permanente. O estado estacionário é atingido com a alteração da temperatura do sólido e da taxa de secagem;

- Trecho BC: Período de taxa constante. A temperatura do sólido úmido é igual à temperatura de bulbo úmido do meio secante, característica que demonstra que as transferências de calor e de massa se compensam exatamente. Nesta etapa, toda a superfície exposta do sólido está saturada de água, sendo que a massa de água removida da superfície é logo substituída pelo líquido que vem do interior do sólido. Dessa forma, a secagem ocorre sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem. O calor é transferido para a superfície de secagem do sólido basicamente por convecção;

- Trecho CD: período de taxa decrescente. Neste período, a migração interna de água para a superfície não consegue mais suprir a taxa de evaporação da água livre da superfície, sendo o valor de umidade deste estado denominado de umidade crítica (FORTES; OKOS, 1980). Nessa etapa a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a umidade é removida da superfície. Durante este período, a troca de calor não é mais compensada, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta (VERÁS, 2010).

Após esta etapa a taxa de secagem aproxima-se de zero, isto porque a umidade aproxima-se da umidade de equilíbrio, que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem. Este valor depende das condições de secagem sendo atingido quando a pressão de vapor sobre o sólido é igual à pressão de vapor do gás secante na alimentação (MARCINKOWSKI, 2006).

Os modelos usados para representar a cinética de secagem são classificados em empíricos, os quais fornecem um bom ajuste dos dados para uma modelagem matemática pouco complexa, no entanto, não são passíveis de extrapolação. Os semi-empíricos são mais fundamentados em teoria e englobam parâmetros com temperatura, pressão e umidade relativa. No entanto, podem não representar bem materiais espessos. Os modelos teóricos apresentam credibilidade para extrapolação, entretanto, devido à complexidade matemática e existência de parâmetros desconhecidos requerem computadores sofisticados para a suas resoluções (MOREIRA, 2000).

Para descrever a secagem de sementes algumas hipóteses são, geralmente, adotadas. Tais como: teor de umidade uniforme, difusão radial simétrica, o teor de umidade na periferia da semente atinge quase instantaneamente o valor de equilíbrio, o coeficiente de difusão

efetivo é constante, não ocorre encolhimento da partícula (ou este é desprezível) e, por fim, consideram que a semente é esférica de raio r . Diante dessas simplificações, é possível a partir de modelos semi-empíricos, estudar o comportamento frente à secagem. Dentre as hipóteses citadas a que é menos aceita é a de que não existe encolhimento das partículas (COSTA, 2010).

Vários pesquisadores utilizaram modelos matemáticos para descreverem a secagem de materiais biológicos: Duzzioni et al. (2013) em seu trabalho relataram que o modelo cinético de Overhults foi o que melhor representou os dados experimentais para os resíduos de acerola. Vêras (2010) observou que os modelos de Lewis, Brooker e Page representaram adequadamente os dados da cinética de secagem da pimenta dedo-de-moça. Perazzini (2011) verificou dentre vários modelos que o de Overhults (1973) foi o que mais se aproximou dos resultados obtidos experimentalmente na secagem de resíduos cítricos.

A equação proposta por Lewis (1921), trata-se de uma analogia à lei de Newton do Resfriamento. As equações propostas por Brooker et al. (1974) e Henderson e Henderson (1968) podem ser vistas como simplificações da solução analítica do modelo difusivo, onde somente o primeiro e o segundo termos da série são considerados, respectivamente (BARROZO, 1995). As equações de Page (1949) e Overhults (1973) são oriundas de modificações empíricas da equação de Lewis (1921).

Na Tabela 2.1 são apresentados alguns modelos cinéticos citados na literatura.

Tabela 2.1: Equações semi-empíricas para cinética de secagem.

Modelo	Equação	Referência
$MR = \exp(-Kt); K = A \exp\left(-\frac{B}{T_f}\right)$	(2.3)	Lewis et al. (1921)
$MR = \exp(-Kt^n); K = A \exp\left(-\frac{B}{T_f}\right)$	(2.4)	Page (1949)
$MR = C \left(\exp(-Kt) + \frac{1}{9} \exp(-9Kt) \right); K = A \exp\left(-\frac{B}{T_f}\right)$	(2.5)	Henderson e Henderson (1968)
$MR = \exp(-(Kt)^n); K = \exp\left(A + \frac{B}{T_f}\right)$	(2.6)	Overhults et al. (1973)
$MR = C \exp(-Kt); K = A \exp\left(-\frac{B}{T_f}\right)$	(2.7)	Brooker et al. (1974)

2.9- Secadores rotatórios

Os secadores rotatórios convencionais consistem de um cilindro levemente inclinado em relação à horizontal, que gira em torno do seu eixo longitudinal e pode ser equipado com suspensores de diferentes formatos. Estes são responsáveis por coletar o material no fundo do cilindro e levá-lo ao topo provocando assim o cascadeamento além do transporte das partículas ao longo do secador. É nesse período que ocorre o maior contato fluido-partícula, responsável pela secagem do material. O fluxo de ar pode ser concorrente ou contracorrente e dessa forma acelerar ou retardar, respectivamente, o fluxo do material dentro do secador. Para que estes secadores se tornarem econômicos, utilizam-se velocidades altas, geralmente superiores a $0,5\text{m.s}^{-1}$, o que pode provocar o arraste de material (MOYERS e BALDWIN, 1999). A Figura 2.2 apresenta um esquema de um secador rotatório convencional equipado com suspensores.

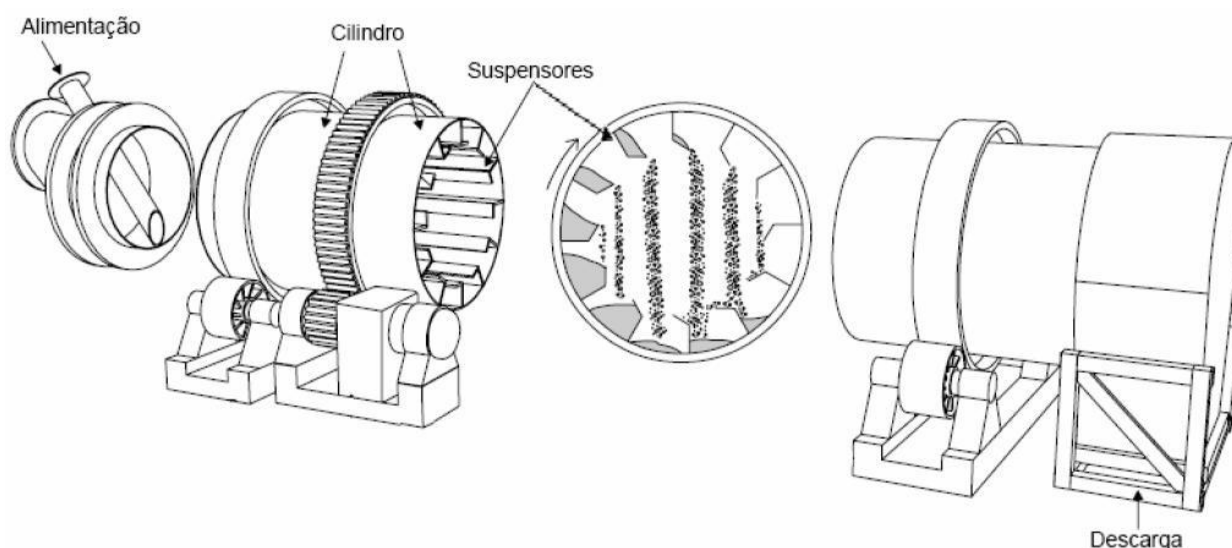


Figura 2.2: Secador do tipo rotatório direto com cascadeamento.

Fonte: FERNANDES, 2008.

O fluxo concorrente é recomendado para materiais termossensíveis como materiais biológicos, alimentos e polímeros, pois nele ocorre um rápido resfriamento do gás durante a evaporação inicial da umidade superficial do sólido. Nesta configuração, a maior parte da secagem ocorre no início do secador. Dessa forma, ocorre uma forte elevação na temperatura do sólido e uma diminuição repentina da temperatura do gás, devido à alta taxa de transferência de calor inicial, ocasionada pelas diferenças de temperatura entre o sólido e o gás quente na entrada, seguida de uma diminuição da temperatura do sólido, paralela à

diminuição da temperatura do fluido (SILVÉRIO, 2012). Em contrapartida, fluxos contracorrentes garantem uma maior eficiência térmica. Contudo, podem ocorrer degradações de compostos bioativos pelo fato do material alcançar temperaturas próximas à do ar de secagem.

A alimentação do material é feita na parte superior do secador e, pela ação da inclinação, da rotação do tambor e dos suspensores, é conduzido até a parte mais baixa, onde o produto seco é descarregado. Este transporte foi estudado por Matchett e Baker (1988), neste trabalho os autores levaram em consideração a fase aérea, em que as partículas estão caindo contra a corrente de ar, período no qual ocorre quase toda a secagem do material, e a fase densa, na qual as partículas encontram-se no fundo do secador, ou sendo conduzidas pelos suspensores. O material permanece na fase densa aproximadamente de 90-95% do tempo que fica no secador e praticamente não se verifica secagem nesse período. De acordo com essa análise, quatro componentes principais podem contribuir independentemente no movimento das partículas ao longo do secador são elas:

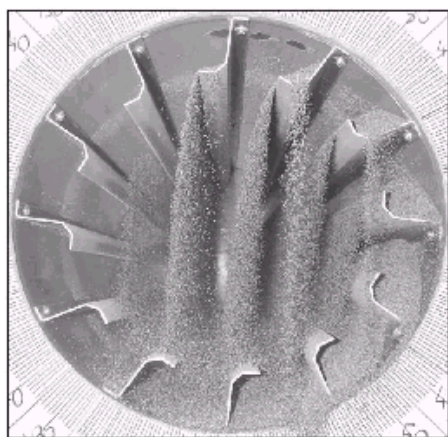
- força gravitacional, devido à inclinação do secador;
- força de arraste exercida pela corrente de gás;
- repique das partículas, devido a um choque inelástico com o fundo do tambor;
- rolagem das partículas no leito do fundo do cilindro rotatório, principalmente quando o equipamento atua com sobrecarga.

Os efeitos relacionados ao transporte das partículas afetam diretamente a carga de sólidos no secador que é uma variável que influencia diretamente na capacidade de transferência de calor. Os principais fatores que influenciam na carga do secador são: as características do material como densidade e geometria, as variáveis de projeto do secador (comprimento, diâmetro e tipos de suspensores) e também as condições operacionais (vazão de sólidos, velocidade e direção do fluxo de gás, rotação e inclinação do tambor) (ALVAREZ e SHENE, 1994). Este transporte influencia diretamente o tempo de residência do material dentro do secador. Uma maneira de calcular o tempo médio de residência, Equação 2.8, é dividindo a carga de sólidos no secador (H^*), também denominada *holdup*, pela vazão de sólidos alimentada ao secador (G_s).

$$\bar{\tau} = \frac{H^*}{G_s} \quad (2.8)$$

Os secadores rotativos são indicados para processos com diversos materiais como fertilizantes (LISBOA et al., 2007; ARRUDA et al., 2008; SILVÉRIO et al., 2012), resíduos cítricos (PERAZZINI et al., 2011) e pão moído (RESENDE, 2012). Porém, devido à necessidade de se trabalhar com elevadas velocidades do ar, em processos que envolvam partículas finas pode haver elevadas perdas devido ao arraste. Estes secadores garantem a secagem homogênea devido a um elevado grau de mistura das partículas (LISBOA et al., 2007).

Visando aumentar a eficiência energética e também o contato entre o material particulado e o fluido de secagem, uma nova versão do secador rotatório foi desenvolvida na Faculdade de Engenharia Química da UFU, denominada secador roto-aerado, Figura 2.3 (b), a qual foi inicialmente avaliada por Lisboa et al. (2007) e depois por Arruda (2008). Neste novo equipamento, os suspensores (Figura 2. 3a) foram substituídos por um tubo central equipado com mini-tubos. Estes são acoplados ao tubo no interior do cilindro giratório, e são responsáveis por transportar o gás quente e colocá-lo em contato direto com as partículas dentro do leito para secagem, promovendo a fluidização destas. O cilindro externo gira em torno do seu eixo longitudinal promovendo o transporte das partículas.



(a)



(b)

Figura 2.3: Secador rotatório convencional (a) e roto-aerado (b).

Com o estudo de Arruda et al. (2009), constatou-se que o secador roto-aerado apresentava maior eficiência quando comparado com o equipamento tradicional contracorrente, usando suspensores. Outro estudo, realizado por Silvério et al. (2012), comparou o desempenho do secador roto-aerado em relação ao convencional com fluxo

contracorrente. Os resultados obtidos mostraram que a taxa de secagem foi de até 18 vezes no novo equipamento, comparado ao convencional nas mesmas condições operacionais. Todos estes trabalhos prévios foram realizados tendo fertilizantes como material a ser secado.

Considerando a ampla gama de produtos que podem ser secos neste secador, além do fato do Brasil ser um dos maiores produtores de acerola e considerando que durante o processamento desta fruta é gerado um grande volume de resíduos que são ricos em compostos antioxidantes, optou-se por, neste trabalho, realizar a secagem dos resíduos do processamento da acerola. Estes resíduos, posteriormente, poderão ser utilizados para a produção de farinha, barras de cereais (MARQUES, 2013) e *cookies* (ABUD e NARAIN, 2009).

Capítulo 3

MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, foram apresentados o material (Seção 3.1) e os métodos utilizados para a caracterização do resíduo de acerola (Seções 3.2 a 3.12), bem como, para os pré-tratamentos (Seção 3.13), para as secagens em infravermelho (Seção 3.14) e para as secagens realizadas em secador roto-aerado (Seções 3.15 a 3.17).

3.1- Material

Os testes de secagem foram realizados utilizando resíduos do processamento de acerola (Figura 3.1), especificamente as sementes de acerola, as quais foram fornecidas pela Fruteza LTDA, localizada no Município de Dracena (SP). As sementes foram armazenadas em embalagens de 1 kg e congeladas a aproximadamente -18°C . As amostras foram retiradas do *freezer* 12 h antes da realização da secagem e colocadas na geladeira para descongelar.



Figura 3.1: Resíduos do processamento da acerola.

3.2- Umidade

Avaliou-se o teor de umidade do produto através do método de estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 h.

3.3- Cinzas

O teor de cinzas foi determinado utilizando-se o método no qual o material é incinerado em mufla, à 500°C por 3 h.

3.4- Massa específica real

As sementes foram previamente secas através do método de estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Em seguida, as sementes foram esfriadas em dessecador e então trituradas em liquidificador até não haver grânulos. Fez-se a medida utilizando-se picnômetro a gás Hélio da marca *Micromeritics*, modelo *AccuPyc* 1330. O gás Hélio é utilizado por ser inerte e devido ao tamanho dos seus átomos conseguirem penetrar nos poros do material, permitindo dessa forma a determinação do volume do sólido com maior precisão.

3.5- Massa específica aparente

A determinação da densidade aparente foi realizada por picnometria utilizando-se éter de petróleo ($\rho = 635 \text{ kg.m}^{-3}$). Para este procedimento foram utilizadas as sementes de acerola *in natura*.

3.6- Caracterização da forma e do tamanho das sementes de acerola

As análises de forma, diâmetros e esfericidade das partículas foram realizadas usando *CamSizer-XT*, sendo um analisador de tamanho e formas das partículas por imagem dinâmica digital.

3.7- Ângulo de repouso estático e dinâmico

O ângulo de repouso foi determinado utilizando o sistema apresentado na Figura 3.2. Este sistema consiste de uma estrutura metálica sobre a qual foi colocada uma superfície de madeira, sendo que uma das partes de madeira era móvel. Junto à parte de madeira fixa colocaram-se um transferidor, o qual permite a leitura do ângulo. A determinação deste ângulo é importante para a compreensão da fluidodinâmica do resíduo e é definido como o ângulo máximo do talude formado pelos grãos em relação à horizontal, sendo influenciado pela umidade, tamanho, forma e constituição do material (SILVA e CORRÊA, 2000).



Figura 3.2: Estrutura para medição do ângulo de repouso estático.

O ângulo dinâmico de repouso foi determinado utilizando um tambor rotativo confeccionado em acrílico, com diâmetro e altura iguais a 0,1 m (Figura 3.3). O tambor foi preenchido até 50% do seu volume o que correspondeu a 0,125 kg de resíduos de acerola, a velocidade rotacional foi de 2,7 rpm e o ângulo dinâmico de repouso foi obtido com resultados de fotografias do experimentos utilizando-se o *software* ImageJ. Esta metodologia foi baseada no trabalho de Silvério (2012).



Figura 3.3: Estrutura para medição do ângulo de dinâmico de repouso.

3.8- Calor específico

O calor específico foi determinado por calorimetria exploratória diferencial. No Instituto de Química, da Universidade Federal de Uberlândia. Para estas análises foram utilizadas de 5 a 8 mg de amostra triturada, a taxa de aquecimento foi de 10°C/min para uma faixa de temperatura entre 20 e 90°C. As sementes utilizadas para as análises possuíam umidades, em base úmida, iguais a 6,7; 10,7; 16,9; 46,2; 63,1 e 81,2%. Os cálculos para obtenção do calor específico foram realizados de acordo com Kaletunç (2007).

3.9- Análise dos compostos bioativos

As análises foram realizadas em ambiente climatizado com a luz apagada para evitar a degradação dos compostos bioativos. Ainda com este intuito, as amostras foram armazenadas em saco plástico vedado e embrulhado com papel alumínio. As amostras *in natura* foram colocadas em geladeira por 12 h para descongelar enquanto as sementes submetidas à secagem foram também colocadas em embalagens de prolipropileno lacradas, envolta em papel alumínio e armazenadas na geladeira a $\pm 8^{\circ}\text{C}$ até o momento das análises.

Para as análises, as amostras foram trituradas, pesadas em balança analítica com precisão de 10^{-4} g da Shimadzu modelo AY220 e misturadas com água ou com metanol. A água foi utilizada como extrator para os testes de titulação, análises de açúcar redutor total e pH. Para as titulações as sementes trituradas foram maceradas com água destilada até completar 250 mL de extrato. O metanol foi usado como extrator para os testes de fenólicos e flavonoides, este reagente foi colocado com as sementes trituradas em um tubo com tampa e agitado em vortex QL-901 da Biomixer por 3 min. Após a agitação, a mistura foi armazenada em um local escuro por 1 h, posteriormente ela foi centrifugada na centrífuga KC4 da marca Kindly a 4000 rpm por 8 min. Sendo que o sobrenadante foi utilizado para as análises.

3.9.1- Determinação da acidez titulável total (TA)

O teor de acidez titulável total das amostras foi realizado de acordo com os métodos da *Association of Official Analytical Chemists* (1995). Neste, utilizaram-se hidróxido de sódio 0,1 N para as titulações dos extratos. Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico / 100 g amostra em base seca.

3.9.2- Determinação de ácido ascórbico (AA)

O conteúdo de ácido ascórbico foi determinado por titulometria, em um método que se baseia na redução do 2,6-diclorofenol-indofenol pelo ácido ascórbico. Nesta análise, utilizaram o extrato dos resíduos provenientes da maceração misturados com ácido oxálico na proporção de 50 mL de extrato para 50 mL de ácido oxálico. Os resultados expressos em mg de ácido ascórbico / 100 g de amostra seca (AOAC, 1995).

3.9.3- Determinação de compostos fenólicos totais (TPC)

O teor de fenólicos totais foi determinado pelo método de Folin–Ciocalteu, usando ácido gálico como padrão (Singleton & Rossi, 1965). O reagente de Folin Ciocalteu é uma solução de íons complexos poliméricos formados a partir de heteropoliácidos fosfomolibdicos e fosfotungsticos. Esse reagente oxida os fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul Mo-W. A leitura da absorbância foi realizada a 622 nm. A curva analítica foi construída utilizando o ácido gálico como padrão. Os resultados estão expressos em mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca.

3.9.4- Determinação de compostos flavonoides totais (TFC)

A extração dos flavonoides foi efetuada com metanol de acordo com Yu e Dahegren (2000). O conteúdo de flavonoides totais foi determinado pelo método colorimétrico segundo Zhishen et al. (1999), com leitura de absorbância a 450 nm.

Este método utiliza o $AlCl_3$ como agente de deslocamento para diminuir a interferência de outros compostos na leitura da absorbância da solução. A rutina foi utilizada como padrão para a obtenção da curva de calibração. Os resultados foram expressos em mg equivalente de rutina/100 g de amostra em base seca.

3.10- pH

Para a determinação do pH do resíduo de acerola 15 g da amostra triturada foi misturada com 100 mL de água destilada e agitada em agitador magnético da marca Fisatom e modelo 751 por 30 min. Posteriormente, a solução foi centrifugada e o sobrenadante teve seu pH aferido com phmetro ION Ph 300, da marca Waterproof.

3.11- Determinação do teor de açúcar redutores

A determinação de açúcares redutores foi realizada pelo método do ácido 3,5 – dinitrosalicílico (MILLER, 1959). O método de DNS baseia-se na redução do ácido 3,5-dinitrosalicílico a ácido 3-amino-5-nitrosalicílico e, ao mesmo tempo, na oxidação do grupo aldeído ou cetônico a grupos carboxílicos, com o desenvolvimento da cor laranja-marrom

intensos. O método de DNS utiliza os reagentes ácido dinitrosalicílico, sal de Rochelle e hidróxido de sódio, cada uma com uma função específica.

A determinação da concentração de açúcares redutores foi feita adicionando 1 mL da solução preparada para obtenção do pH a 2 mL do reagente DNS em Tubos de Folin-Wu e levada para um banho em água fervente por 5 min. Após este tempo, resfriava-se os tubos em banho com água resfriada e completava-se o volume a 25 mL com água destilada, os quais foram homogeneizados e a seguir realizada a leitura da absorbância.

A calibração do zero no aparelho foi feita utilizando um teste em branco, em que 1 mL de água destilada substituíu a amostra, seguindo o mesmo procedimento.

O método foi previamente padronizado por uma curva de calibração de glicose (0,1 a 1,0 mg/mL com intervalos de 0,1 g/L). As leituras foram realizadas a 540 nm em espectrofotômetro V-1200, da Pró-análise, utilizando cubetas de vidro.

3.12- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As análises de microscopia foram realizadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) da Carlzeiss, modelo EVOMA10, após as amostras terem sido fixadas nos stubs e metalizadas com ouro no metalizador da marca Leica modelo SCD050. Para isto, o MEV foi regulado a uma distância focal de 9,5 mm, voltagem de aceleração de 10 kV e ampliação de 133 vezes para todas as amostras.

3.13- Métodos de pré-desidratação

3.13.1-Pré-tratamento com etanol

As sementes foram pesadas em balança analítica e imersas em etanol 93,2 °GL, na proporção de 1 kg de sementes para 4 L de etanol. Esta metodologia foi adaptada de Fernandes et al. (2008). Após cinco minutos, as sementes foram separadas e colocadas sobre papel toalha para retirar o excesso de álcool. Outra forma de pré-tratamento foi realizada pulverizando etanol 93,2 °GL sobre as sementes, na proporção de 2 L para 3 kg de sementes, sendo as mesmas deixadas em repouso por 1,5 h até o momento da secagem. Essa metodologia baseou-se nos trabalhos de Santos e Silva (1997) e Braga et al. (2010) que

mostraram que a presença de etanol na atmosfera de secagem e pulverizados sobre a superfície das frutas promoviam uma evaporação de água mais intensa.

3.13.2- Pré-tratamento com ultrassom

As sementes de acerola foram imersas em água na proporção de 1 kg de sementes para 4 L de água, de acordo com Fernandes (2008) e submetidas ao ultrassom por 3 min. Este tempo de imersão foi determinado de acordo com teste previamente realizados. A frequência e a potência do ultrassom utilizado foram respectivamente, 33 kHz e 1050 W. Após a imersão as sementes foram peneiradas e postas sobre papel toalha a fim de remover o excesso de água.

3.13.3- Pré-tratamento por osmose

As sementes de acerola foram imersas em solução de sacarose (50%) na proporção de 1 kg de sementes para 4 L de solução, adaptado da metodologia proposta por Alves et al. (2004). As sementes ficaram imersas na solução por 5 min, posteriormente peneiraram-se e imergiram as sementes em água destilada na proporção de 1 kg de sementes para 4 L de água destilada. Este processo foi realizado com o intuito de remover o excesso de açúcar sobre a superfície do material e com isso facilitar a difusão da umidade. Novamente peneiraram as sementes e colocaram-nas sobre papel toalha para retirar o excesso de água.

Após estes métodos de pré-tratamento as sementes foram submetidas à secagem.

3.14- Secagem em infravermelho

As secagens em infravermelho foram realizadas em um secador infravermelho IV 2500 da GEHAKA (Figura 3.4) constituído por um emissor infravermelho, um sensor de temperatura do tipo Platina (PT1000), um prato de alumínio descartável sobre o qual foi colocada a amostra e o suporte do prato que é diretamente ligado ao eixo da balança. Sobre este sistema existe uma capota responsável pelo isolamento térmico do refletor para o ambiente. A câmara protege a balança do calor por meio de um colchão de ar, e garante que haja circulação de ar interna para que os vapores de água saiam da amostra sem que seja perturbada a leitura da balança. A câmara superior garante que toda a radiação infravermelha seja dirigida à amostra, fornecendo uma distribuição uniforme de calor sobre a amostra.

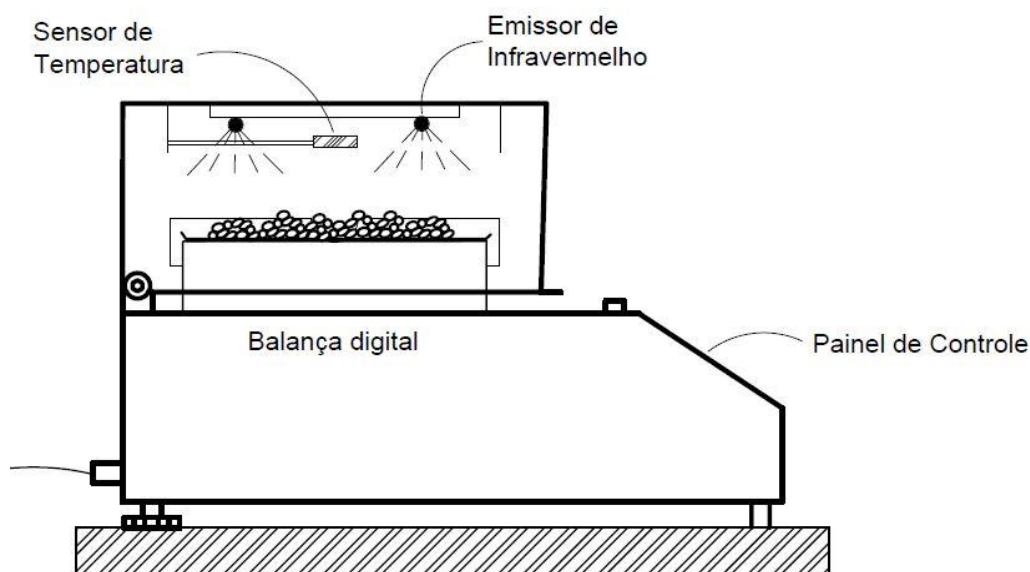


Figura 3.4: Analisador de umidade por infravermelho IV 2500 da GEHAKA.

Estas secagens foram realizadas com o intuito de obter os melhores métodos de pré-tratamento dos resíduos de acerola, os quais garantissem a maior difusividade de água sem, contudo, implicar na redução dos teores bioativos. Dessa forma, as secagens foram realizadas tanto para as sementes in natura quanto para as pré-tratadas com etanol, sacarose e ultrassom.

Após as sementes serem submetidas aos respectivos tratamentos as mesmas foram pesadas e então se iniciava a secagem no infravermelho nas temperaturas de 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C e 100°C. Os valores de umidade foram anotados no decorrer do tempo até que não houvesse variação significativa. Após a secagem fizeram-se análises para avaliar o teor de umidade e a concentração de compostos bioativos.

Os valores de umidade obtidos ao longo do tempo de secagem foram convertidos em adimensional de umidade, tal que: $MR = (M - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq})$. Em que MR é o adimensional de umidade, M é a umidade em um tempo qualquer, M_0 a umidade inicial e M_{eq} a umidade de equilíbrio. Posteriormente os dados de adimensional de umidade versus tempo foram analisados por regressão não linear, com os modelos cinéticos Lewis (1921), Brooker et al. (1974), Henderson e Henderson (1968), Overhults et al. (1973) e Page (1949) os quais foram citados por Barrozo et al. (1996). Finalizaram-se plotando-se os gráficos dos ajustes do melhor modelo cinético.

3.15- Secador roto-aerado

A unidade experimental de secagem em secador roto-aerado (Figura 3.5), em escala semi-piloto era constituída por um soprador de 7,5 cv acoplado a um duto com comprimento de 2 m e 0,2 m de diâmetro. Entre esse duto e o secador existia um sistema de aquecimento com resistências elétricas, controladas por dois variadores de voltagem. Esse sistema permitia a variação da tensão e consequentemente da corrente elétrica que por fim implicam em alterações do calor. Esse sistema de aquecimento se baseia no efeito Joule, que ocorre quando um condutor é aquecido ao ser percorrido por uma corrente elétrica, ocorrendo neste processo a transformação de energia elétrica em energia térmica. Esse fenômeno ocorre devido ao encontro dos elétrons da corrente elétrica com as partículas do condutor.

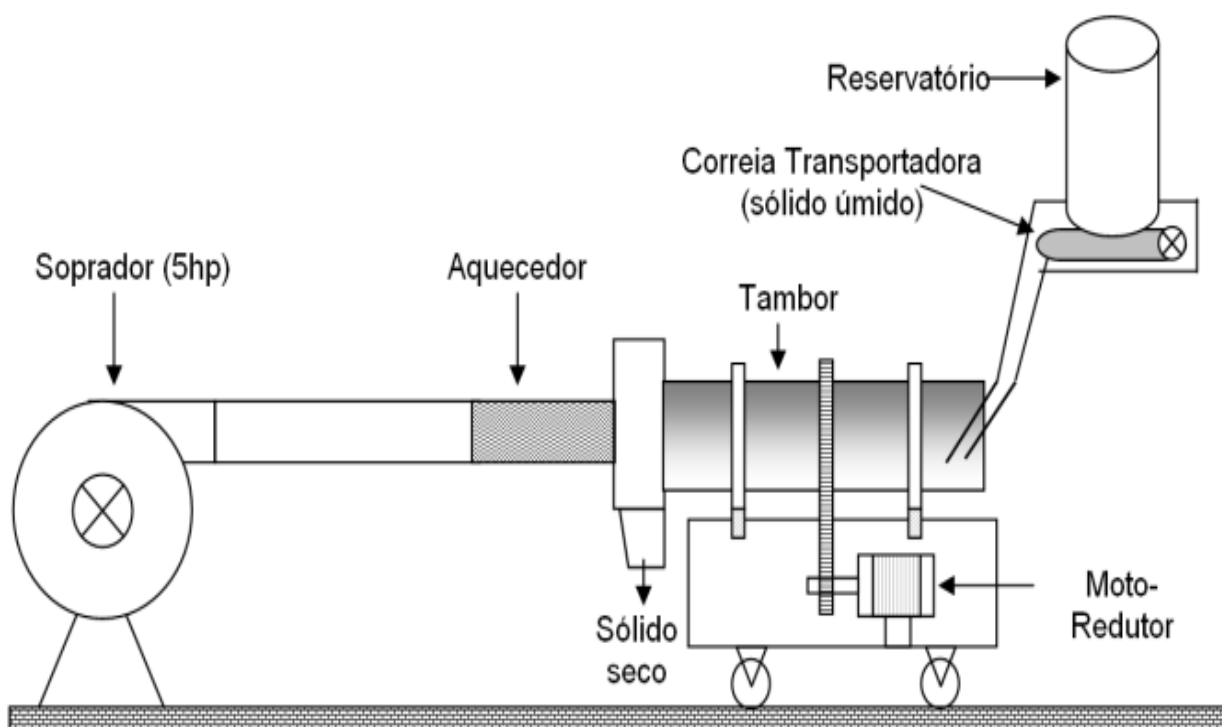


Figura 3.5: Aparato experimental disponível para os experimentos de secagem.
Fonte: Adaptado de Silvério (2012).

A alimentação de sólidos foi feita através de uma correia transportadora montada abaixo de um reservatório, onde o material particulado úmido foi armazenado. A correia foi acionada por um motor de 0,5 cv acoplado a um moto-redutor e a velocidade foi controlada por um inversor de frequência. Além do controle de velocidade, a distância entre o bocal do

silo e a correia também podia ser regulada, fornecendo mais uma opção para o ajuste da vazão de sólidos. Os sólidos foram removidos na outra extremidade do secador, o material foi direcionado por meio de uma calha para um reservatório.

O tambor rotatório possuía a superfície interna coberta por chapas de aço inoxidável de 0,5 mm de espessura com o intuito de evitar processos de oxidação ocasionados pela umidade do resíduo. O comprimento é de 1,5 m e 0,29 m de diâmetro (relação $L/D=5$, menos a espessura do aço inoxidável), a estrutura permitia variações de inclinação enquanto a rotação do tambor podia ser controlada por meio de inversor de frequência.

A configuração roto-aerada (Figura 3.6) possui mini-tubos, os quais direcionam o ar para as sementes de acerola. Foram utilizados, para as secagens no secador roto-aerado, 56 tubos de diâmetros variados, de 0,095 m de comprimento e a 0,02 m de distância do leito de partículas. Os 10 primeiros mini-tubos, próximos à alimentação de sólidos, tinham diâmetros internos iguais a 4 mm. Os 12 mini-tubos posteriores tinham diâmetros internos de 6 mm e, por fim, os 34 mini-tubos próximos à descarga de sólidos possuíam diâmetros internos iguais a 9 mm. Esta configuração foi utilizada com base nos resultados encontrados por Silvério (2012) e a fim de garantir o escoamento adequado do resíduo de acerola. Isto porque o resíduo tende a acumular na entrada do secador e o ar de secagem oferecia resistência ao seu escoamento. Dessa forma, optou-se por colocar mini-tubos com diâmetros menores no começo do secador. Logo, as velocidades do ar na saída dos tubos variavam para as diferentes regiões do secador, sendo maiores na entrada e menores próximos à descarga dos sólidos. Estudos sobre estas variações foram realizados por Silvério (2012).

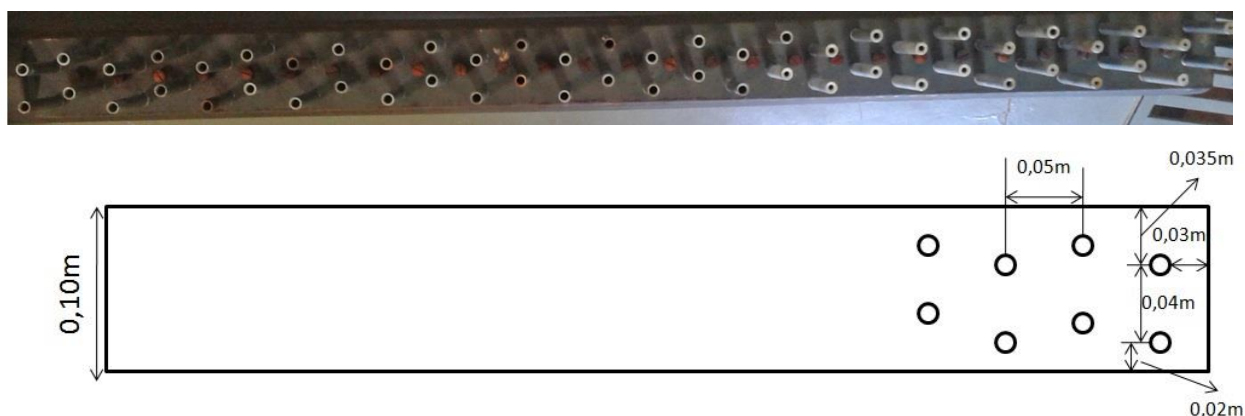


Figura 3.6: Distribuição de mini-tubos no secador roto-aerado.

Fonte: Adaptado de Silvério (2012)

3.16- Metodologia Experimental

A secagem do resíduo (semente de acerola) foi realizada no secador roto-aerado. Testes preliminares de escoamento do resíduo de acerola permitiram estabelecer as melhores condições operacionais as quais são apresentadas na Tabela 3.2:

Tabela 3.1: Condições experimentais.	
Inclinação do secador	3°
Rotação do tambor	2,7 rpm
Vazão média de sólidos	0,045 kg/min

Para os testes de secagem, após o secador ter sido lavado e seco, ligaram-se o soprador, o sistema de aquecimento e a rotação do tambor nas condições operacionais estabelecidas pelo planejamento experimental. O sistema permaneceu nessas condições, ainda sem alimentação do resíduo, até que a temperatura e a velocidade do ar estabilizassem. Em seguida, os resíduos foram alimentados intermitentemente no secador. Após certificar que o sistema estava em regime permanente recolheram-se as amostras para análises de umidade, atividade de água, acidez titulável total, ácido ascórbico, fenólicos e flavonoides. Deve-se ressaltar que todos os experimentos de secagem, em secador roto-aerado, foram realizados em uma faixa de 33 a 47% de umidade relativa do ar.

3.16.1- Medidas de vazão mássica de sólidos e velocidade do ar de secagem

A velocidade do ar de secagem foi medida por um anemômetro de fio quente TSI *Incorporated*, modelo 9545. As medidas de velocidade do ar de secagem foram realizadas antes do sistema de aquecimento (na tubulação de 0,2 m), para isto, o anemômetro foi colocado em diferentes posições radiais. A partir dos resultados era encontrada a velocidade média.

A vazão mássica de sólidos foi ajustada pela coleta periódica de amostra na entrada do secador e pesagem em balança analítica da marca Marte, modelo AY220, de precisão 10^{-4} g. Após o início da secagem as coletas foram realizadas na saída do secador e então pesadas.

3.16.2-Medidas do tempo médio de residência

As medidas do tempo médio de residência foram realizadas pesando a carga de sólidos do secador em balança analítica da marca Marte, modelo AY220, de precisão 10^{-4} g e dividindo pela vazão de sólidos alimentados. Os cálculos foram feitos utilizando base seca. Vale ressaltar que essas medidas eram realizadas apenas no final de cada corrida, considerando a necessidade de remoção das sementes do leito do secador.

3.16.3-Medidas de temperaturas

As temperaturas do ar, na entrada e na saída do secador, foram medidas utilizando-se termopares de cobre-constantan, previamente calibrados em banho termostático com termômetro padrão de precisão $0,05^{\circ}\text{C}$. As temperaturas dos sólidos, na entrada e saída, também foram medidas por termopares de cobre-constantan. Sendo que para estas medidas os sólidos foram coletados em um recipiente isolado termicamente, a fim de evitar interferências do ambiente. A leitura das temperaturas era realizada com o auxílio de mostradores digitais acoplados aos termopares.

3.16.4-Taxa de secagem

A taxa de secagem foi calculada por balanço de massa no sistema. Esta taxa é relação entre a quantidade de água evaporada e o tempo de residência das partículas no secador.

$$R_w = G_{su} - G_{ss} \quad (3.1)$$

3.16.5-Secagem com realimentação de sólidos

As secagens com realimentação do material foram realizadas em múltiplos estágios. Sendo que após o sistema estar ajustado às condições operacionais os sólidos foram alimentados ao secador. As amostras foram coletadas após certificar-se que o sistema estava em regime permanente. Posteriormente, as sementes foram recolocadas no reservatório, novamente era certificado se o sistema estava nas condições operacionais desejadas e então

iniciava a alimentação das sementes de acerola ao secador. Este procedimento foi realizado por até cinco vezes. A quantidade de estágios foi determinada de acordo com a umidade do material no final de cada corrida. Foram realizadas as análises dos compostos bioativos após todos os estágios de secagem.

3.17- Planejamento experimental

As variáveis temperatura e velocidade do ar tiveram seus efeitos avaliados por meio de um planejamento composto central, com cinco réplicas no ponto central, o qual está apresentado na Tabela 3.3. Posteriormente foram realizadas análises estatísticas dos resultados no software STATISTICA®, versão 7.0 para Windows.

Tabela 3.2: Planejamento composto central ($\alpha = 1,267$).

x_1	x_2	T (°C)	v (m/s)
-1	-1	80,0	1,50
-1	1	80,0	3,00
1	-1	150,0	1,50
1	1	150,0	3,00
$-\alpha$	0	70,6	2,25
$+\alpha$	0	159,3	2,25
0	$-\alpha$	115,0	1,30
0	$+\alpha$	115,0	3,20
0	0	115,0	2,25
0	0	115,0	2,25
0	0	115,0	2,25
0	0	115,0	2,25
0	0	115,0	2,25
0	0	115,0	2,25

A variável x_1 representa a temperatura do ar de secagem, (T); enquanto x_2 corresponde à velocidade do ar, (v). As Equações (3.2) e (3.3) representam a codificação da temperatura do ar e a velocidade do ar, respectivamente, sendo T (°C) e v (m/s).

$$x_1 = \frac{T-115}{35} \quad (3.2)$$

$$x_2 = \frac{v-2,25}{0,75} \quad (3.3)$$

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados da caracterização dos resíduos de acerola. Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos das secagens em infravermelho. Estas foram realizadas com o intuito de avaliar o efeito da pré-desidratação na cinética de secagem dos resíduos. Optou-se por utilizar o infravermelho por este requerer baixa quantidade de amostra por teste. Em seguida, são apresentados os resultados das secagens em secador roto-aerado. Os quais são divididos em três etapas, são elas: um planejamento composto central (PCC), em que foram avaliados os efeitos da temperatura e da velocidade do ar de secagem sobre a redução de umidade e do teor de compostos bioativos. Com base nos resultados dos experimentos realizados no secador roto-aerado e no infravermelho, foram realizadas secagens em três diferentes condições do planejamento, sendo que nesta etapa os resíduos de acerola haviam sido previamente tratados com etanol. Por fim, serão apresentados os resultados das secagens em secador roto-aerado com recirculação dos resíduos.

4.1- Caracterização do resíduo de acerola

Os resultados das análises de caracterização dos resíduos de acerola mostraram que o teor de cinzas encontrado foi igual a $2,46 \pm 0,09$ g/100 g de sólido úmido, valores próximos a este foram encontrados por Bortolotti (2012) em que o teor de cinzas para este resíduo foi igual a $2,17 \pm 0,06$ g/100 g de sólido úmido. A composição da acerola pode ser influenciada por vários fatores como a localização geográfica, práticas de cultivo, regime pluvial, exposição à luz do sol, características genéticas e, principalmente, o estágio de maturação em que os frutos se encontram (MATSUURA et al., 2001).

O teor de sólido solúveis foi igual a $7,02 \pm 0,06$ °Brix. Enquanto que Bortolotti (2012) encontrou um valor igual a $7,83 \pm 0,058$ °Brix.

A concentração de açúcar redutor para o resíduo da acerola *in natura* foi igual a $2,13 \pm 0,08$ g/100 g. Segundo Nóbrega (2012) o teor de açúcar redutor no resíduo de acerola *in natura* utilizado no seu trabalho foi igual a $2,50 \pm 0,10$ g/100 g. Enquanto que Braga et al.

(2011) determinaram que o teor de açúcar redutor para os resíduos de acerola verde e madura foram iguais a 1,8 e 2,38 g/100 g.

O pH do extrato obtido neste trabalho, a partir dos resíduos de acerola, foi igual a $3,2 \pm 0,1$. Este resultado caracteriza o resíduo como muito ácido, isto é, possui pH inferior a 4,0 (RIBEIRO e SERAVALLI, 2007). No trabalho de Correia (2012) o pH, para o resíduo de acerola foi igual a $3,54 \pm 0,01$. Matsuura et al. (2001) determinaram o pH para frutos de diferentes genótipos de aceroleira os resultados ficaram entre 3,08 e 3,57.

O teor de ácido ascórbico encontrado foi igual a $11,0 \pm 1,1$ mg ácido ascórbico/100 g de resíduo seco. Este valor foi inferior ao relatado por Duzzioni et al. (2013), em que o teor foi de 16,1 mg/100 g de resíduo seco. O teor de ácido cítrico foi igual a 2843 ± 132 mg ácido cítrico/100 g de resíduo seco. Valores próximos foram encontrados por Bortolotti (2012).

O teor de fenólicos e flavonoides foram iguais a $446,4 \pm 16,8$ mg de ácido gálico / 100 g e $1,00 \pm 0,14$ mg de rutina / 100 g, respectivamente. Sousa et al. (2011) determinaram que o teor de fenólicos totais nos resíduos de polpa de acerola foi de $247,6 \pm 2,1$ mg/100 g. Enquanto Bortolotti (2012) encontrou valores próximos à 0,8 mg de rutina / 100 g de amostra. Vasco et al. (2009) definiram que produtos com alta concentração de compostos fenólicos seriam aqueles que possuísem concentração superior a 1000 mg de ácido gálico/100 g enquanto que aqueles com concentração inferior a 100 mg de ácido gálico.100/g são considerados de baixa concentração. Dessa forma, subentende-se que entre esses limites, o resíduo utilizado é considerado de concentração intermediária. É valido ressaltar que para a determinação dos teores de fenólicos e flavonoides as sementes foram previamente trituradas o que possibilita a maior remoção destes bioativos, além do que este teor pode ser afetado pelas características de plantio.

Os ângulos de repouso estático e dinâmico para o resíduo de acerola foram iguais a $48,0 \pm 0,2^\circ$ e $50,5 \pm 2,1^\circ$. Bortolotti (2012) encontrou que o ângulo de repouso estático para o resíduo de acerola utilizado em seu trabalho foi de $40,0 \pm 2,2^\circ$ e o dinâmico igual a $49,3 \pm 4,2$. Neste trabalho, a autora avaliou ainda o efeito da umidade sobre estes parâmetros e constatou que não é possível observar variações dos ângulos de repouso em função da umidade dos resíduos.

A densidade real obtida por picnometria com gás Hélio foi igual a $1427,5 \pm 9,4$ kg/m³, enquanto que a densidade aparente determinada por picnometria com éter de petróleo foi $860,4 \pm 10,6$ kg/m³. Esta diferença ocorre devido à porosidade do resíduo de acerola. Deve-se ressaltar ainda, que para a determinação da densidade real o material havia sido seco

em estufa à 105°C, enquanto que para a obtenção da densidade aparente o material estava úmido (*in natura*).

Outras análises para caracterização do resíduo úmido para a obtenção de características de forma das partículas foram realizadas em CamSizer-XT, que se baseia em um processamento de imagem digital com um fluxo dinâmico de partículas, sendo que:

- $x_{\text{área}}$, que corresponde ao diâmetro da partícula calculado a partir da área projetada, considerando a área equivalente a de um círculo com volume de uma esfera;

- $x_{c-\text{min}}$ é o diâmetro da partícula de menor extensão obtidos a partir da sua projeção;

- $x_{Fe-\text{máx}}$ é o maior diâmetro de Feret;

- $x_{Fe-\text{min}}$ é o menor diâmetro de Feret;

- $x_{Ma-\text{min}}$ é o diâmetro que divide a área da projeção de partículas em duas metades.

As representações desses diâmetros estão apresentados na Figura 4.1.

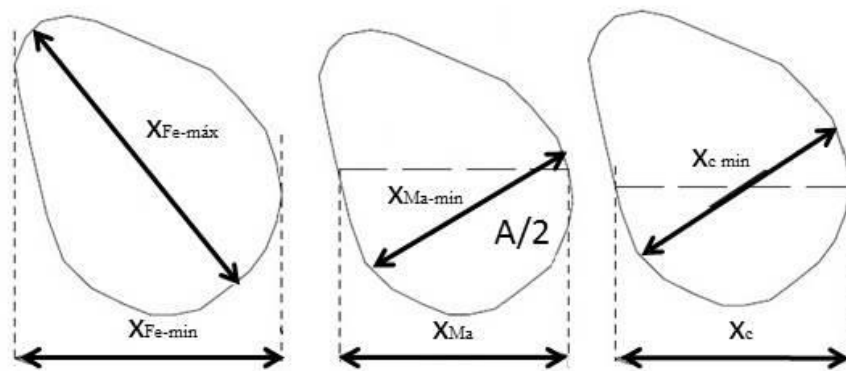


Figura 4.1: Representação dos diâmetros das partículas.

Fonte: Adaptado do manual do equipamento.

Outros resultados obtidos no CamSizer-XT foram:

- esfericidade que mede o quão próxima a forma da partícula é de uma esfera, portanto, uma esfera possui esfericidade igual a um.

- convexidade que corresponde à relação entre a área real da projeção de partículas e área convexa de projeção de partículas;

- simetria que é calculada a partir das medidas das distâncias dos seus centros até as bordas, sendo que partículas assimétricas possuem simetria < 1 .

- relação b/l que é a relação entre $x_{c-\text{min}}/x_{Fe-\text{máx}}$

Os resultados obtidos no Camsizer estão apresentados nas Figuras 4.2 e 4.3.

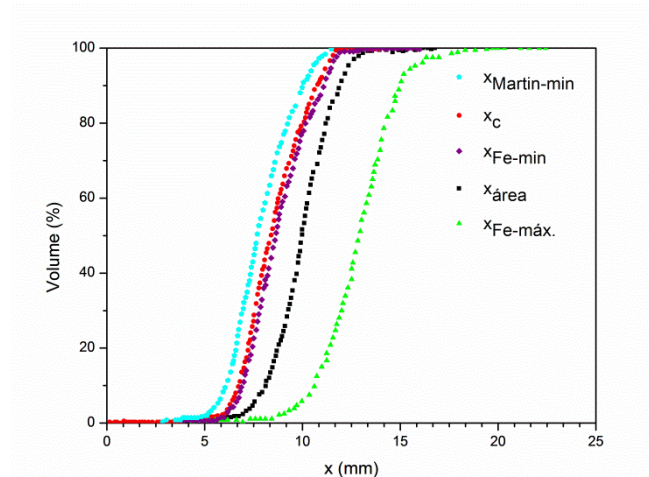


Figura 4.2: Diâmetros das sementes de acerola obtidos no Camsizer.

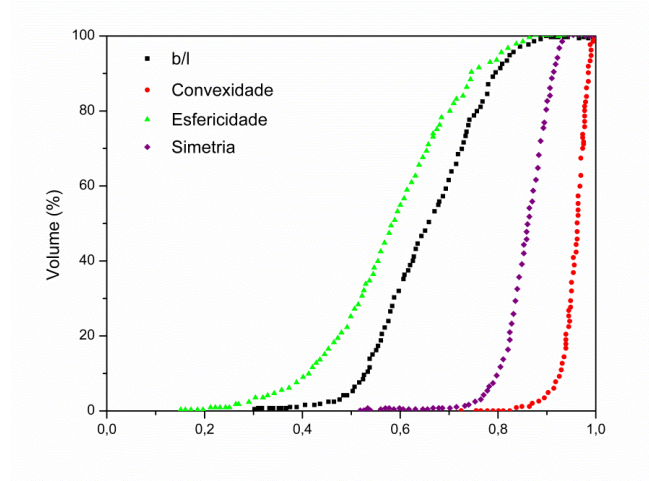


Figura 4.3: Características do resíduo de acerola obtidos no Camsizer.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados da caracterização dos resíduos de acerola em Camsizer para o volume médio (50%).

Tabela 4.1: Resultados Camsizer para 50% de volume.

x_c (mm)	8,4
$x_{Martin-min}$ (mm)	7,7
x_{Fe-min} (mm)	8,7
x_{Fe-max} (mm)	13,0
$x_{área}$ (mm)	10,0
b/l	0,66
Convexidade	0,96
Esfericidade	0,59
Simetria	0,86

Calor específico

Os resultados obtidos por DSC foram analisados por regressão não linear no *software* STATISTICA®, versão 7.0 para Windows. A análise dos resultados mostrou que, para a ampla faixa de temperatura e umidade analisada, o calor específico para o resíduo de acerola apresenta comportamento não linear em relação a estas variáveis. É possível observar ainda que para temperaturas mais elevadas a variação do calor específico é mais acentuada (Figura 4.4). Marques (2008) em seu trabalho com acerola afirmou que o calor específico apresentava comportamento linear em relação à temperatura, contudo, a faixa experimental foi de 20 a 55°C. Este autor ressalta ainda, assim como ocorreu nos resultados apresentados a seguir, a grande variação do calor específico para a acerola madura, quando comparado com a acerola amarela e com abacaxi, goiaba e manga. Provavelmente, esta variação está relacionada com o elevado teor de pectina total nesta fruta. Assim, a acerola madura fica muito sensível às mudanças na temperatura e no teor de umidade, que pode ocasionar a transição vítrea da fruta. Como resultado desta transição térmica, o calor específico sofre grandes aumentos em seu valor (ROOS,1995).

Os resultados da regressão para os efeitos significativos para o calor específico são apresentados na Tabela 4.2. Portanto, o calor específico pode ser representado pela Equação 4.1, que apresentou um valor de 0,813 para o quadrado do coeficiente de correlação da regressão. Em que T (°C) representa a temperatura e M (g/g amostra) a umidade do material.

Tabela 4.2: Resultados da regressão múltipla para a resposta calor específico, considerando apenas os efeitos significativos.

Fator	Parâmetro	Desvio	Nível de significância
Média (kJ/kg.°C)	3,880	0,119	<0,001
T (°C)	-0,047	0,004	<0,001
M (g/g amostra)	-19,184	0,284	<0,001
TT	0,0007	<0,001	<0,001
MM	17,578	0,299	<0,001
TM	0,240	0,003	<0,001

$$c_p = 3,880 - 0,047T - 19,184M + 0,001T^2 + 17,578UM^2 + 0,240TM \quad (4.1)$$

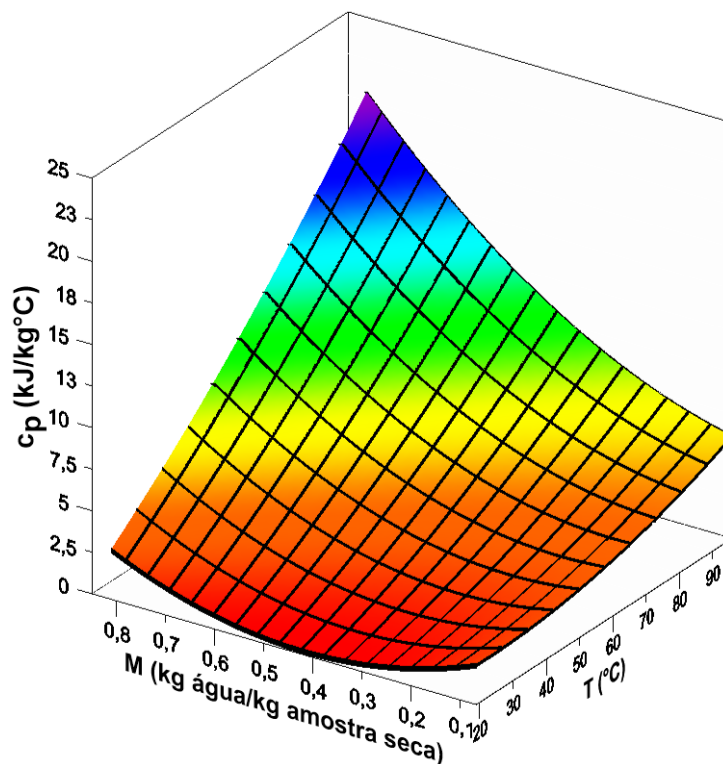


Figura 4.4: Calor específico dos resíduos de acerola.

Os resultados encontrados foram próximos aos relatados por Marques (2008). No entanto, este autor realizou as análises para o fruto (acerola) enquanto que no presente trabalho as análises foram para as sementes de acerola, o que justifica os valores abaixo dos encontrados por aquele autor, isto devido à menor umidade e diferença de composição. Estes resultados permitirão, em trabalhos futuros, a modelagem e simulação de processos de transferência de energia no sistema. Vale ressaltar a escassez destas informações na literatura, fato que motivou a realização destas análises.

4.2- Secagem no infravermelho

Cinética de secagem

Os dados de adimensional de umidade em função do tempo de secagem foram usados para a construção de curvas de cinética de secagem. Estas curvas foram analisadas pelos modelos não lineares citados na metodologia. Para estas análises foi utilizado o *software* STATISTICA®, versão 7.0 para Windows. Dentre os quais o modelo que melhor representou os dados experimentais foi o de Overhults et al. (1973) cujos parâmetros são apresentados na

Tabela 4.3. Os resultados dos ajustes para todos os modelos, para os diferentes resíduos são apresentados no Apêndice 1.

Tabela 4.3: Dados dos parâmetros para a previsão de Overhults et al. (1973) para os resíduos.

	A	B	n	R^2
Acerola	0,158	-48,3	1,32	0,9951
Acerola com etanol	0,076	-23,4	1,30	0,9984
Acerola com ultrassom	0,118	-35,2	1,26	0,9939
Acerola com sacarose	0,184	-56,6	1,30	0,9963

A Tabela 4.4 apresenta os tempos finais das secagens, para atingir a mesma umidade final, para as diferentes temperaturas dos resíduos de acerola sem pré-tratamento e para os tratados com etanol, ultrassom e sacarose. Observa-se que os menores tempos de secagem foram obtidos para os resíduos de acerola que sofreram pré-tratamento com etanol.

Tabela 4.4: Tempos finais (em segundos) das secagens em infravermelho.

	Acerola sem tratamento	Acerola com etanol	Acerola com ultrassom	Acerola com sacarose
50°C	17400	15300	17400	17400
60°C	15000	11100	15000	12600
70°C	9600	8280	12720	9000
80°C	7800	6780	9000	7200
90°C	7620	5400	7380	6180
100°C	5400	4800	6780	5100

Nas Figuras 4.5 a 4.8 são apresentadas as curvas de desidratação dos resíduos de acerola com e sem pré-tratamentos. Verifica-se que a secagem em infravermelho ocorreu nos períodos de taxa decrescente, indicando que as resistências internas à transferência de massa governam o processo de secagem. A migração interna de umidade não consegue suprir a taxa de evaporação na superfície, a qual é exposta à radiação eletromagnética. Comportamentos similares foram obtidos sob toda a faixa operacional empregada. Consequentemente, as taxas de secagem foram maiores no início do processo, diminuindo gradualmente com a remoção

de umidade. Isto porque uma maior quantidade de energia radiante é absorvida pela água localizada inicialmente na superfície das partículas, resultando em maiores taxas. Mas com a secagem da superfície do material, a penetração de calor através da camada seca diminui, reduzindo assim a taxa de secagem (SANTOS, 2009).

A Figura 4.5 apresenta os resultados da cinética de secagem para o resíduo de acerola sem tratamento. Observa-se que as curvas para as temperaturas de 50 e 60°C foram mais próximas, existindo uma diferença de 13,8% no tempo final de secagem. Enquanto que quando a temperatura passou de 60 para 70°C houve uma redução de 36,0%. Resultados ainda significativos foram verificados para 100°C em que houve uma redução de 29,1% em relação à temperatura de 90°C. Dessa forma, visando o menor gasto energético as temperaturas de secagem possivelmente deveriam ser 70°C ou 100°C, no entanto, cálculos energéticos além de análise do material após a secagem são necessários para confirmar esta hipótese.

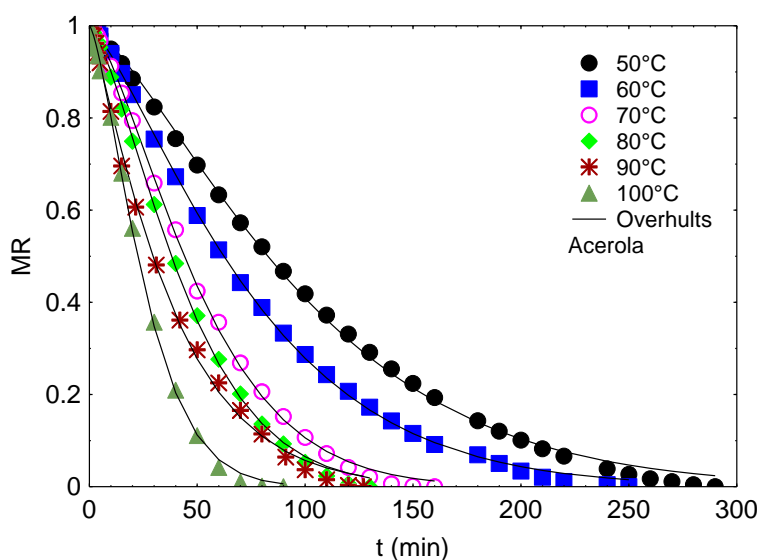


Figura 4.5: Cinética de secagem do resíduo de acerola sem tratamento em infravermelho.

A Figura 4.6 apresenta os resultados de cinética de secagem para os resíduos de acerola tratados com etanol. É possível observar a redução do tempo de secagem, em relação à secagem dos resíduos sem tratamento, de até 29,1% na temperatura de 90°C. Contudo, como pode-se observar na Tabela 4.4 esta redução do tempo de secagem poderia ser alcançada para o resíduo sem tratamento elevando-se a temperatura de secagem para 100°C.

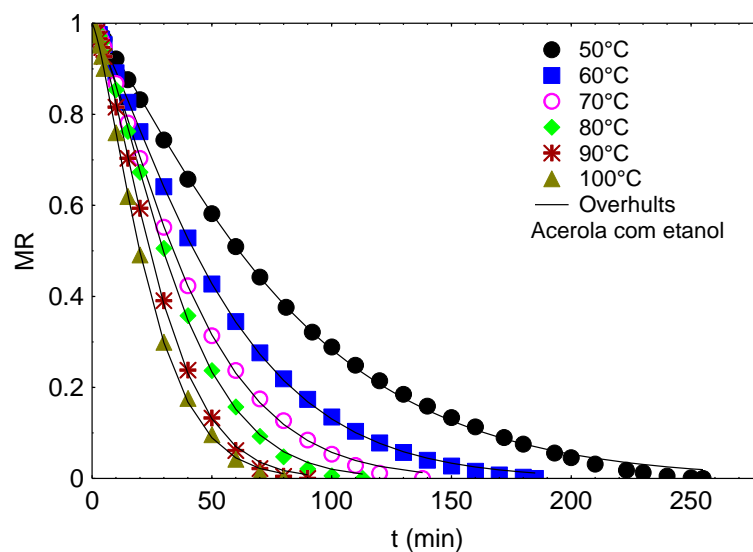


Figura 4.6: Cinética de secagem do resíduo de acerola com etanol em infravermelho.

Os resultados da cinética de secagem do resíduo de acerola pré-tratadas com ultrassom (Figura 4.7) mostraram, que foi observada uma redução do tempo final de secagem, em relação à secagem dos resíduos de acerola sem tratamento somente para 90°C, de apenas 3,1%. Nas demais temperaturas os tempos de secagem foram superiores aos resíduos sem tratamento. Isto pode ter ocorrido pelo aumento da umidade do material quando exposto ao ultrassom.

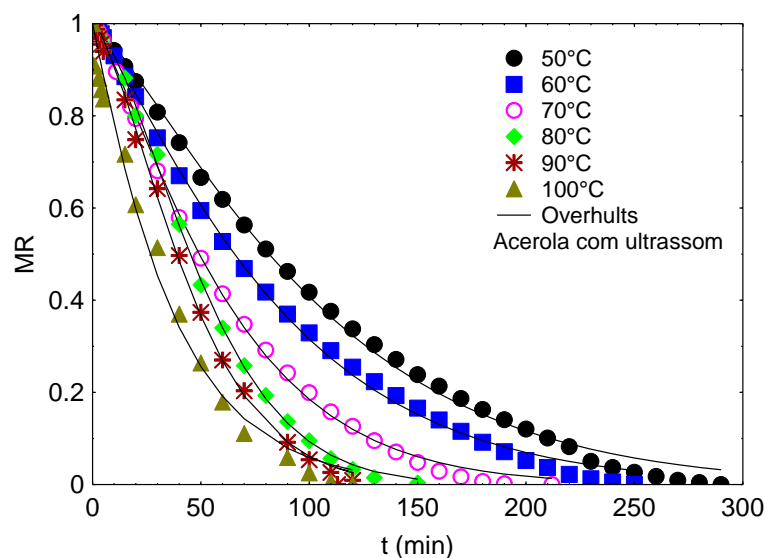


Figura 4.7: Cinética de secagem do resíduo de acerola com ultrassom em infravermelho.

As curvas da cinética de secagem do resíduo de acerola tratado com sacarose (Figura 4.8), mostraram que, em relação ao resíduo sem tratamento, as maiores reduções do tempo de

secagem foram para as temperaturas de 60 e 90°C, iguais a 16,0 e 18,9%, respectivamente. Esta redução pode não ter sido tão acentuada devido ao aumento da resistência à difusão provocada pela sacarose.

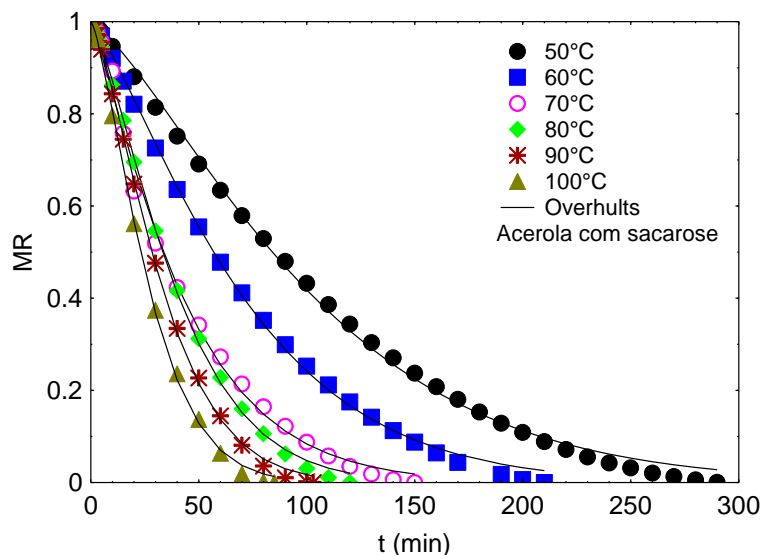


Figura 4.8: Cinética de secagem do resíduo de acerola com ultrassom em infravermelho.

Portanto, os resíduos previamente tratados com etanol apresentaram maior redução do tempo de secagem. Contudo, é necessário avaliar os resultados da composição destes resíduos após a secagem, a fim de definir o quanto os resíduos são afetados pelo tratamento e pela secagem.

Análises dos compostos bioativos

A Figura 4.9 apresenta a concentração de ácido ascórbico para os resíduos de acerola sem tratamento e os pré-tratados com etanol, sacarose e ultrassom. Os resultados, para as condições estudadas, indicaram o efeito benéfico da temperatura sobre o teor de ácido ascórbico em relação ao resíduo *in natura*. Este comportamento também foi encontrado por Duzzioni et al. (2013) em estudos com resíduos de acerola em leito fixo e por Ozgur et al. (2011) ao secar pimentas. Isto pode ter ocorrido, pelo o aumento da temperatura que contribui para a desativação de enzimas responsáveis pela degradação do ácido ascórbico. Promovendo dessa forma a maior extração.

Verificou-se também que as maiores concentrações de ácido ascórbico ocorreram para temperaturas intermediárias. Foi possível ainda observar que os resíduos de acerola

tratados com etanol pulverizado apresentaram valores mais próximos ao resíduo de acerola sem tratamento após a secagem. Em contrapartida, os resíduos previamente tratados com solução de sacarose e ultrassom apresentaram uma redução acentuada do teor de vitamina C. Isto ocorre devido à diferença de concentração da solução e da amostra, que implica na transferência de massa da solução para amostra e da amostra para a solução. Nos tratamentos com ultrassom ocorrem séries de rápidas compressões e expansões que podem implicar na formação de canais microscópicos que reduzem a camada limite de difusão e aumenta a transferência de massa do produto (Fuente-Blanco, 2006). Estes mecanismos mostram-se favoráveis no processo de secagem, implicando na redução do tempo de secagem, contudo, como pode se observar nos resultados apresentados, causam a perda de nutrientes do material. Este comportamento é observado também para os teores de ácido cítrico e fenólicos.

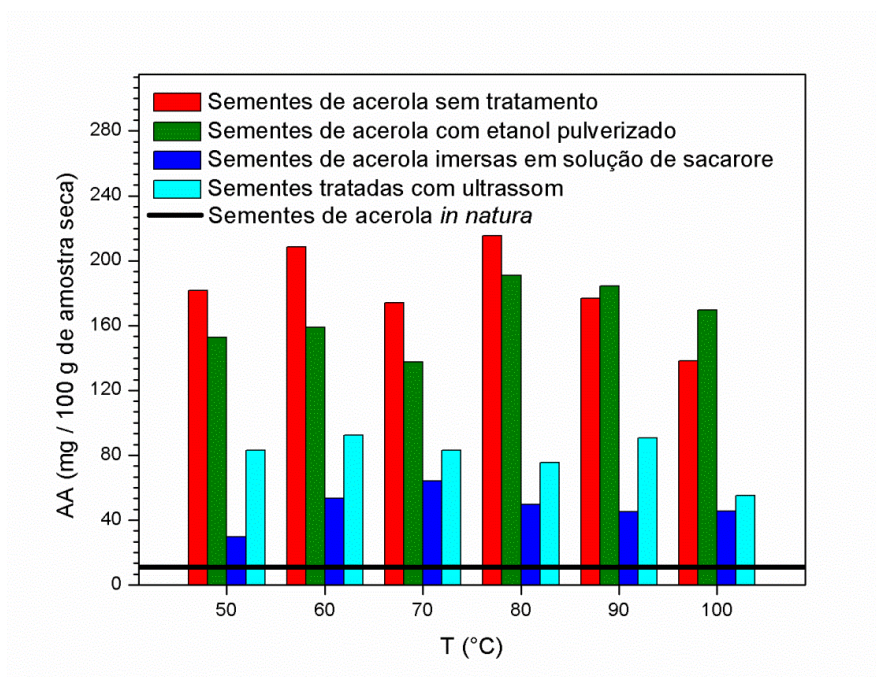


Figura 4.9: Ácido ascórbico (AA) em função da temperatura de secagem.

O teor de acidez, apresentado na Figura 4.10, indica a tendência a se ter a maior concentração nas temperaturas intermediárias e que o resíduo de acerola pulverizado com etanol apresentou concentrações de ácido cítrico próximas às dos resíduos sem tratamento. Nos tratamentos com ultrassom e com solução de sacarose, como já discutido, ocorre a dissolução dos componentes bioativos. No entanto, todos os resíduos, após a secagem, tiveram a redução da acidez em relação à *in natura*. Isto ocorre devido à baixa estabilidade do

ácido cítrico durante tratamentos térmicos, o qual é sensível a operações com temperaturas elevadas (PODSEDEK, 2007).

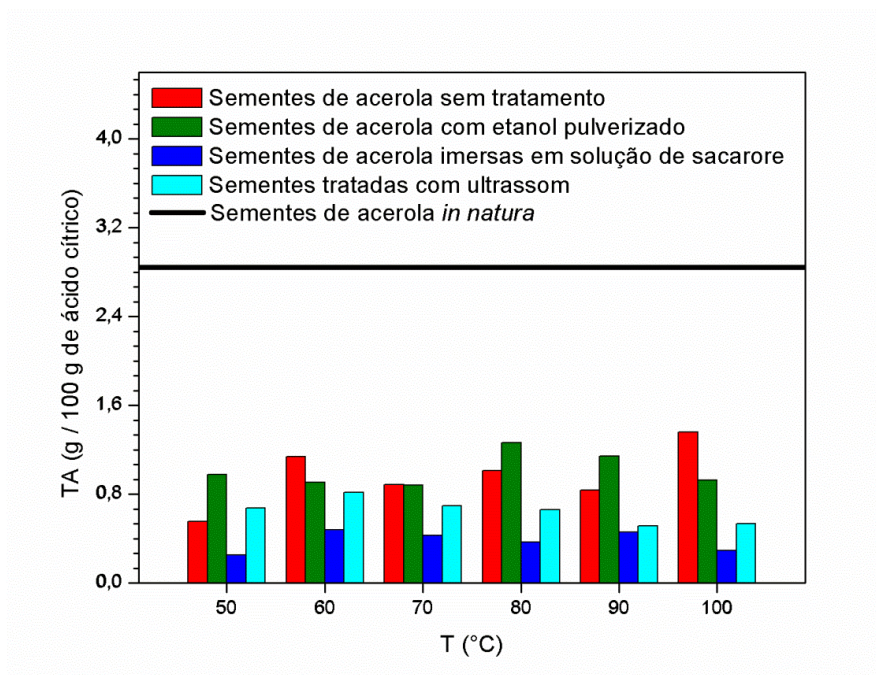


Figura 4.10: Ácido cítrico (TA) em função da temperatura de secagem.

O teor de compostos fenólicos, Figura 4.11, apresentou redução em relação ao aumento da temperatura de secagem. Enquanto o de flavonoides, Figura 4.12, sugere a possível necessidade de uma temperatura intermediária para obtenção da maior concentração. Contudo, as concentrações de ambos foram superiores ao do resíduo *in natura*. Isto é possível devido à liberação de compostos fenólicos da matriz durante o processamento do material (CHANG et al., 2006). Outros estudos, como o de Vega-Gálvez et al. (2009), relataram que o aumento do teor de fenólicos após secagens pode estar relacionado à presença de melanoidinas, provenientes da reação de Maillard, interferindo assim nas propriedades antioxidantes dos alimentos em geral. Observa-se também, que o pré-tratamento com etanol foi benéfico para estes compostos. O pré-tratamento com ultrassom, diferente do que aconteceu com a vitamina C, foi benéfico para o teor de flavonoides.

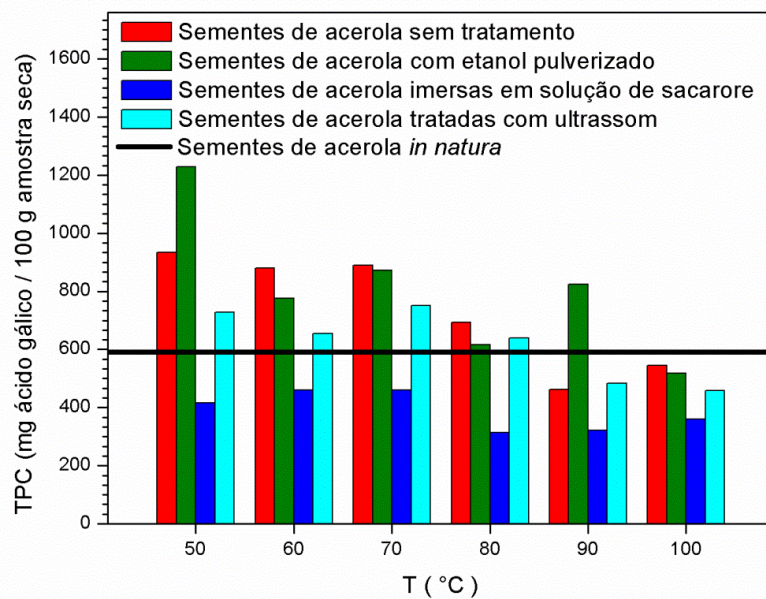


Figura 4.11: Fenólicos totais (TPC) em função da temperatura de secagem.

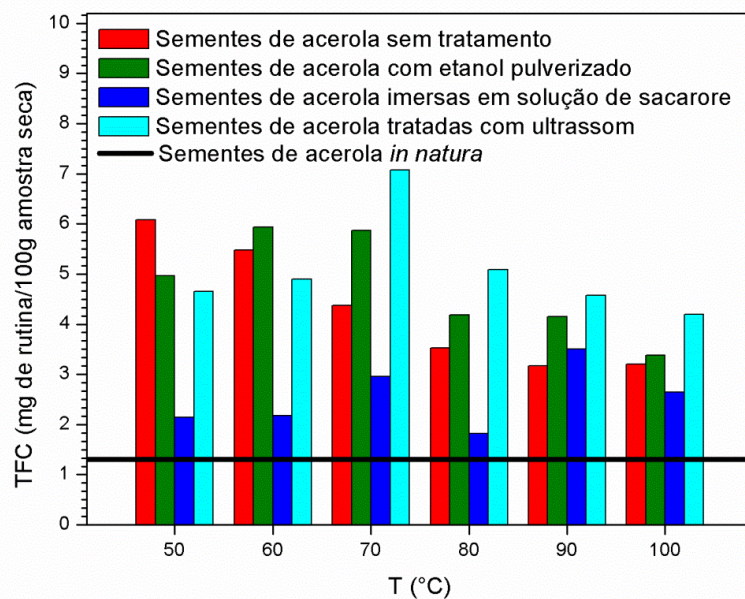


Figura 4.12: Flavonoides (TFC) em função da temperatura de secagem.

Outros fatores, como o tempo de secagem, também influenciam a concentração dos bioativos após a secagem. Segundo Fasina et al. (2001), a prolongada exposição do material ao aquecimento pode resultar em eventual injúria térmica do mesmo. Comportamento que também foi relatado por Santos-Sánchez et al. (2011) em secagem de damascos. Dessa forma,

uma possibilidade é, a fim de reduzir o tempo de secagem, trabalhar com elevadas temperaturas. Portanto, os sólidos, apesar de submetidos à elevada temperatura, não teriam um tempo de exposição prolongado. Os resultados, representados nas Figuras 4.13 e 4.14, indicam a dependência do teor de ácido cítrico e ácido ascórbico em relação não somente à temperatura de secagem, mas também ao tempo de secagem. No entanto, os resultados de fenólicos e flavonoides (Figuras 4.15 e 4.16) sugerem que estes bioativos são funções, principalmente, da temperatura de secagem.

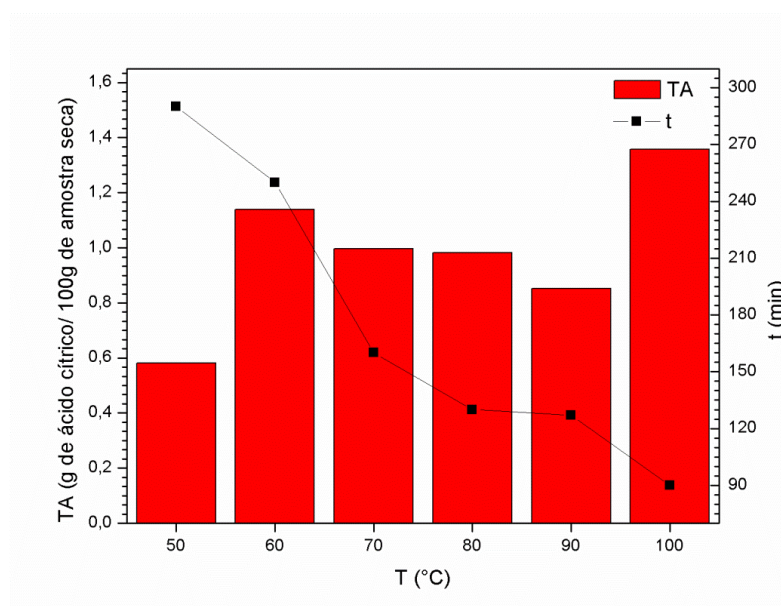


Figura 4.13: Ácido cítrico (TA) em função da temperatura e do tempo de secagem.

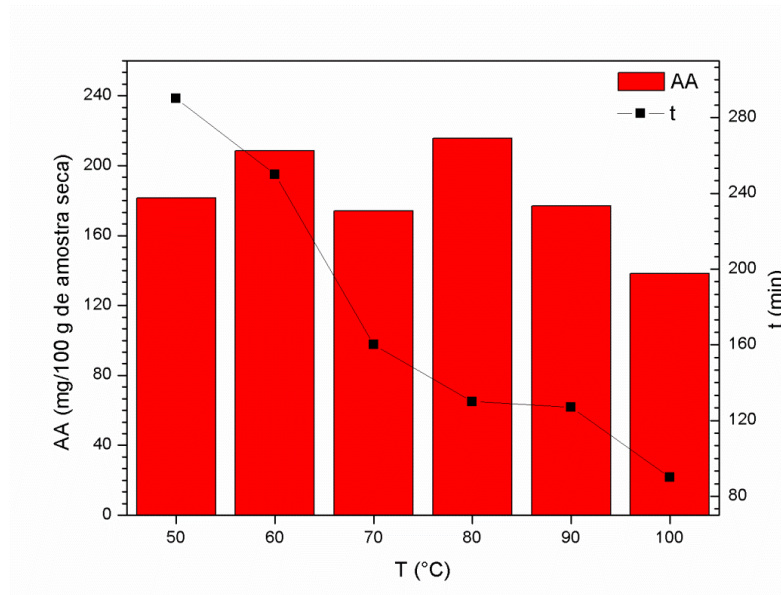


Figura 4.14: Ácido ascórbico (AA) em função da temperatura e do tempo de secagem.

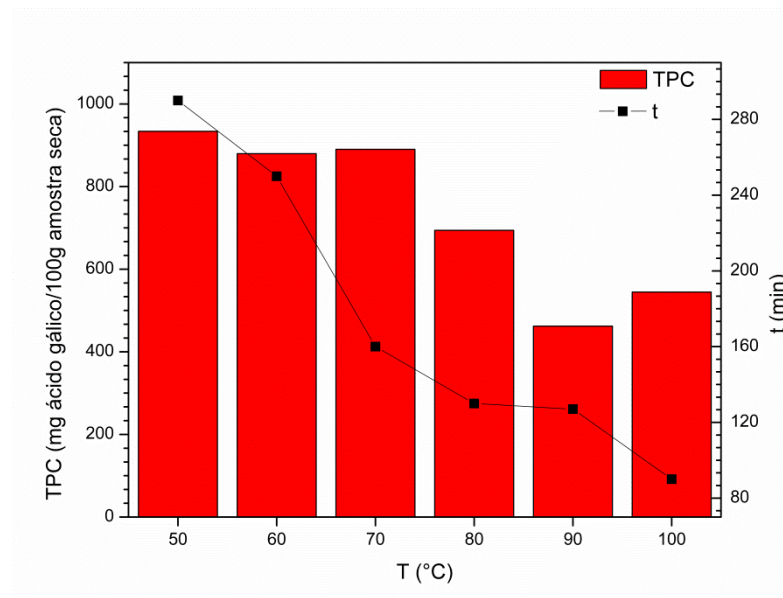


Figura 4.15: Fenólicos totais (TPC) em função da temperatura e do tempo de secagem.

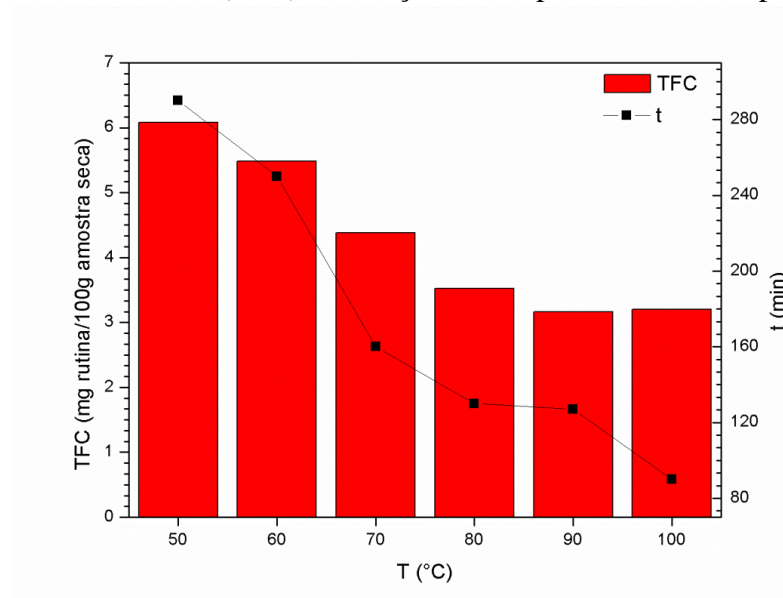


Figura 4.16: Flavonoides totais (TFC) em função da temperatura e do tempo de secagem.

Por fim, fez-se a microscopia eletrônica de varredura dos resíduos de acerola com os diferentes pré-tratamentos, submetidos na sequência à secagem a 50°C. Para isso, o MEV foi regulado a uma distância focal de 9,5mm, voltagem de aceleração de 10kV e ampliação de 133 vezes para todas as amostras. A Figura 4.17 apresenta a imagem obtida no MEV para o resíduo de acerola *in natura*. Foi possível observar que o material apresenta estrutura mais homogênea e com perfurações. As Figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 apresentam as imagens para os resíduos de acerola, acerola com etanol, acerola com sacarose e acerola com ultrassom, respectivamente. A estrutura dos resíduos secos que não sofreram pré-tratamento (Figura

4.18) e aqueles que sofreram pré-tratamento com etanol (Figura 4.19) foram muito parecidas, com muitos poros e aparência esponjosa. Isto pode explicar os comportamentos semelhantes destes materiais após a secagem, tendo em vista os aspectos qualitativos. Já para os resíduos que sofreram tratamento com sacarose (Figura 4.19) e com ultrassom (Figura 4.20), observa-se uma estrutura menos porosa que as anteriores e semelhantes entre si. Justificando também o comportamento qualitativo do material seco após estes pré-tratamentos, comparado aos demais. As imagens indicam ainda que os resíduos após a secagem apresentaram uma contração da estrutura em relação à *in natura*.

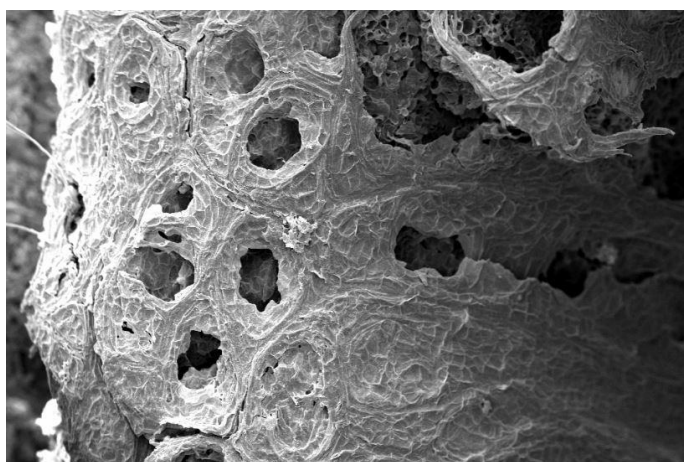


Figura 4.17: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola *in natura*.

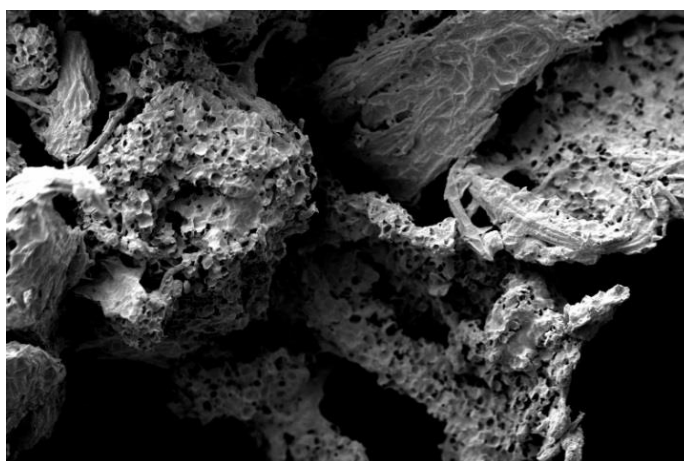


Figura 4.18: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola sem tratamentos.

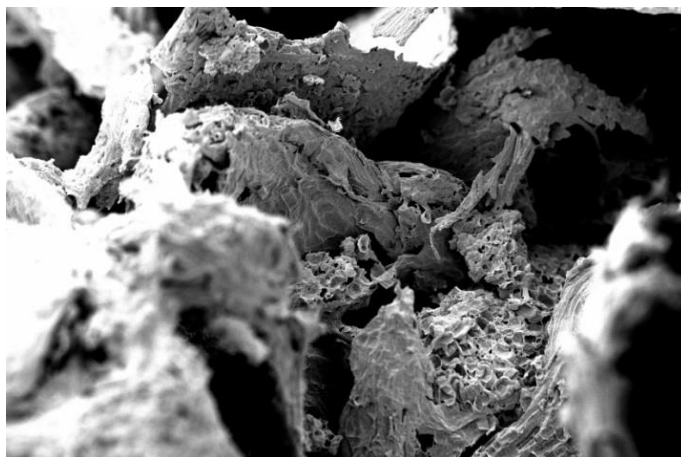


Figura 4.19: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola com etanol.

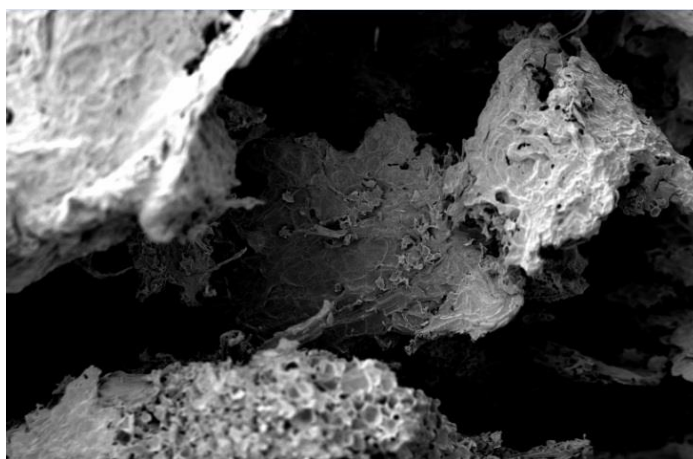


Figura 4.20: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola com sacarose.



Figura 4.21: Microscopia eletrônica de varredura das sementes de acerola com ultrassom.

Os resultados mostraram o efeito benéfico do etanol pulverizado sobre as sementes de acerola. Este tratamento provocou a redução do tempo de secagem sem, contudo, provocar

a perda de compostos bioativos. Perda esta observada para os tratamentos com solução de sacarose e em banho ultrassônico. Destaca-se, também, o efeito do tempo de secagem sobre os teores dos compostos bioativos, principalmente, a influência deletéria sobre a acidez.

4.3- Secagem no secador roto-aerado

Resultados do Planejamento Composto Central

A Tabela 4.5, mostra as treze condições operacionais, doravante denominadas de P1 a P13. Vale ressaltar que as Equações (4.1) e (4.2) representam a codificação da temperatura do ar e a velocidade do ar, respectivamente, sendo T (°C) e v (m/s).

$$x_1 = \frac{T-115}{35} \quad (4.1)$$

$$x_2 = \frac{v-2,25}{0,75} \quad (4.2)$$

Tabela 4.5: Planejamento Composto Central com codificação.

Condição Operacional	x_1	x_2	T (°C)	v (m/s)
P1	-1	-1	80,0	1,50
P2	-1	1	80,0	3,00
P3	1	-1	150,0	1,50
P4	1	1	150,0	3,00
P5	-1,267	0	70,6	2,25
P6	1,267	0	159,3	2,25
P7	0	-1,267	115,0	1,30
P8	0	1,267	115,0	3,20
P9	0	0	115,0	2,25
P10	0	0	115,0	2,25
P11	0	0	115,0	2,25
P12	0	0	115,0	2,25
P13	0	0	115,0	2,25

A análise dos resultados da secagem do resíduo de acerola, em secador roto-aerado permitiu observar que, como esperado, a maior desidratação das sementes ocorreu nas condições com maiores temperaturas e velocidades do ar. Resta analisar se esta condição mais drástica manteve elevados os índices nutricionais do material. Vale ainda ressaltar que na condição de maior remoção de água (P6), em que foi removida 45,8%, o tempo de residência da semente dentro do secador foi 3,2 min (Figuras 4.22 e 4.23). Os tempos médios de residência dentro do secador roto-aerado (Figura 4.22) variaram entre 3,15 a 4,44 min.

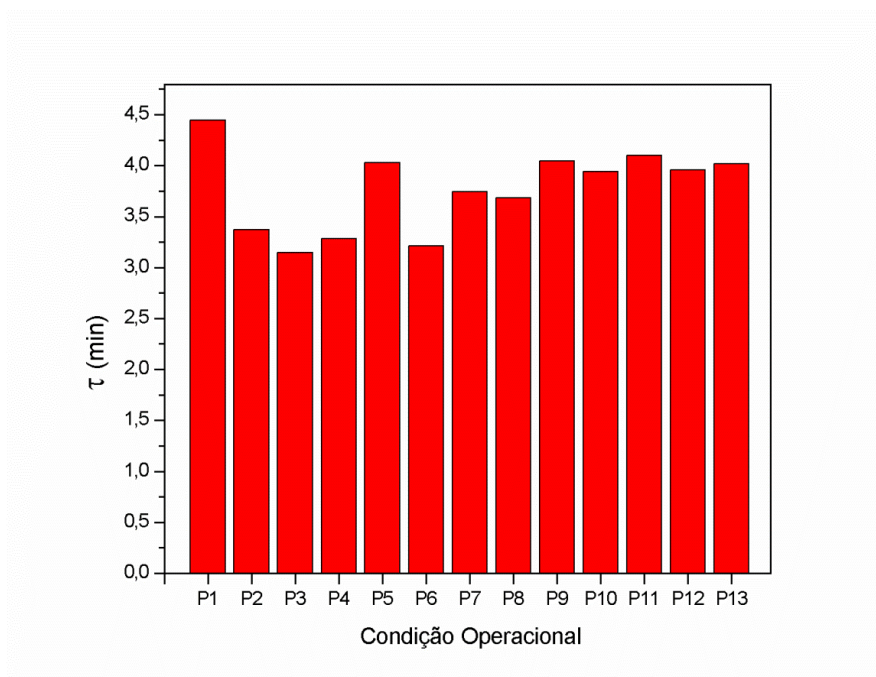


Figura 4.22: Tempo médio de residência para as diferentes condições do PCC.

A Figura 4.23 apresenta os resultados da taxa de secagem e a umidade retirada para as diferentes condições experimentais do planejamento composto central. Observa-se que as maiores remoções foram para as corridas P6 e P4, ou seja, para as condições com maior temperatura e velocidade do ar de secagem.

Na Figura 4.24 foram apresentados os valores das taxas de secagem e das temperaturas dos sólidos na saída do secador para as diversas condições operacionais. Verifica-se que os experimentos que conduziram às maiores taxas de secagem foram também aqueles em que os sólidos atingiram as maiores temperaturas. Portanto, tendo em vista a qualidade final do produto, que é diretamente influenciada pela temperatura do material, não apenas a maximização da taxa de secagem deve ser buscada, mas aquela condição em que também a qualidade do produto final seja preservada.

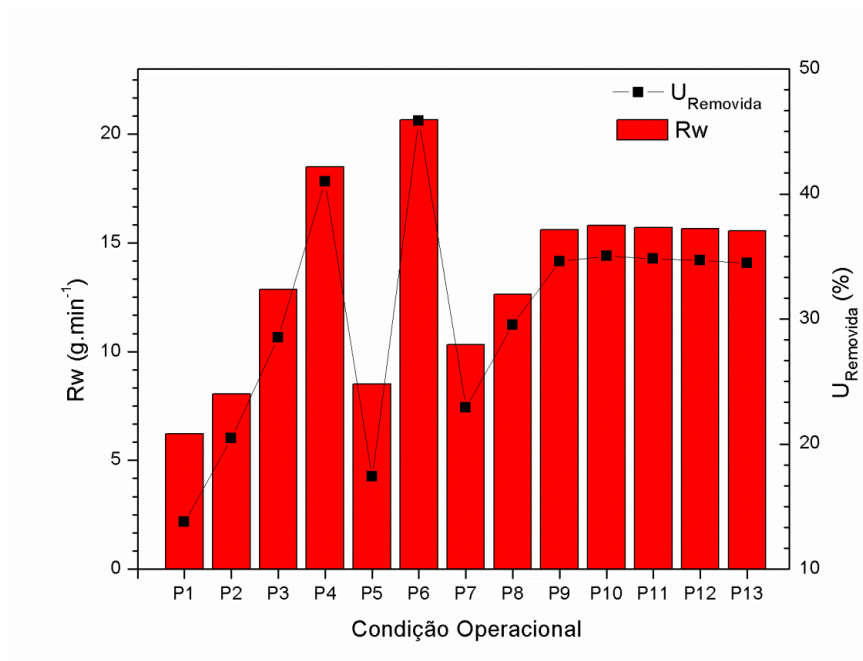


Figura 4.23: Taxa de secagem e umidade removida para as diferentes condições do PCC.

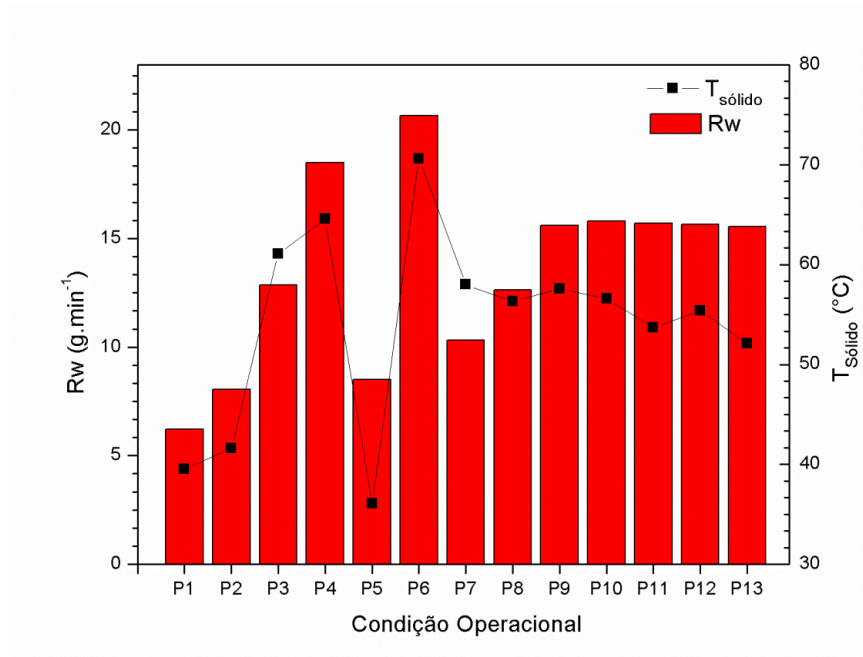


Figura 4.24: Taxa de secagem e temperatura dos sólidos para as diferentes condições do PCC.

Considerando a possível degradação dos compostos bioativos e com o intuito de obter as melhores condições operacionais, considerando também a qualidade do material, foram avaliados também os teores dos compostos bioativos, ao final de cada um destes experimentos. As Figuras 4.25 e 4.26 mostram que o teor de ácido cítrico foi menor nos experimentos realizados com níveis mais elevados da temperatura e da velocidade do ar (P4, P6 e P8). Este comportamento, em relação à temperatura, também foi observado nos

experimentos realizados no infravermelho. Esta redução ocorre devido à baixa estabilidade do ácido cítrico durante operações à elevadas temperaturas. Contudo, esta redução do teor de ácido cítrico pode ser favorável, pois este atribui sabor amargo ao alimento.

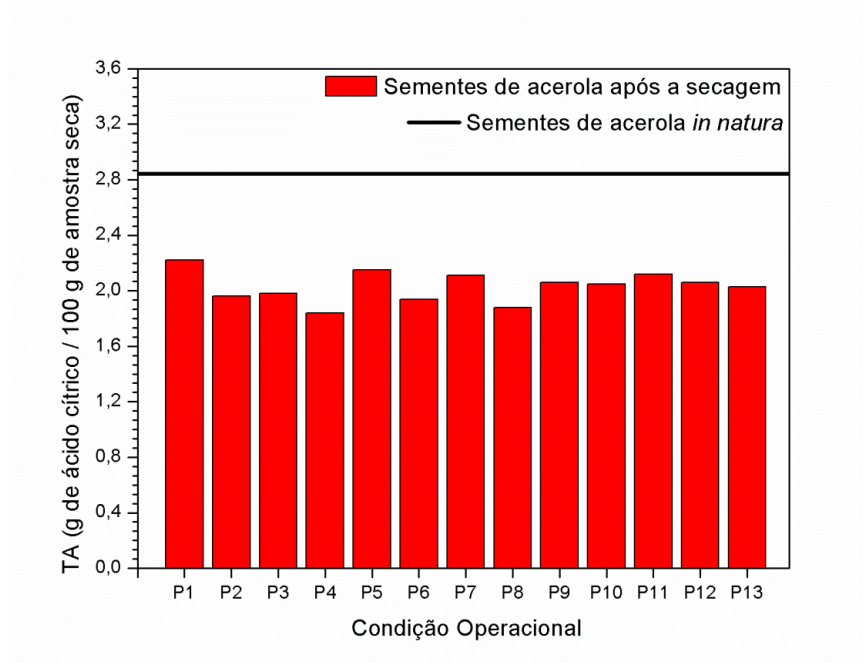


Figura 4.25: Ácido cítrico (TA) para as diferentes condições do PCC.

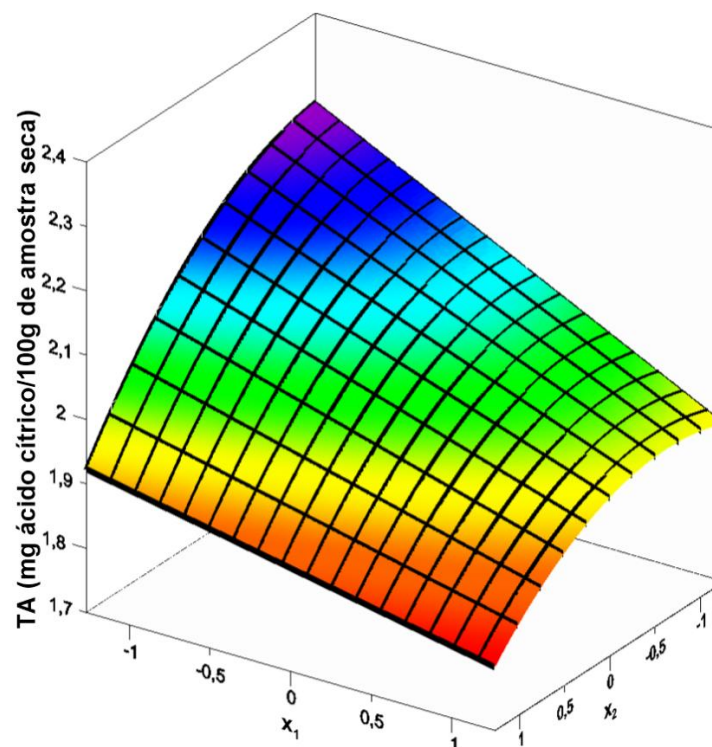


Figura 4.26: Acidez (TA) em função das variáveis de codificação x_1 e x_2 .

A Figura 4.27 e 4.28 apresentam os resultados do teor de ácido gálico para as diferentes condições de secagem do PCC. Observa-se o efeito benéfico da secagem sobre o teor de fenólicos em relação aos resíduos *in natura*. No entanto, para temperaturas mais altas ocorreu a redução deste bioativo em relação às de temperaturas intermediárias.

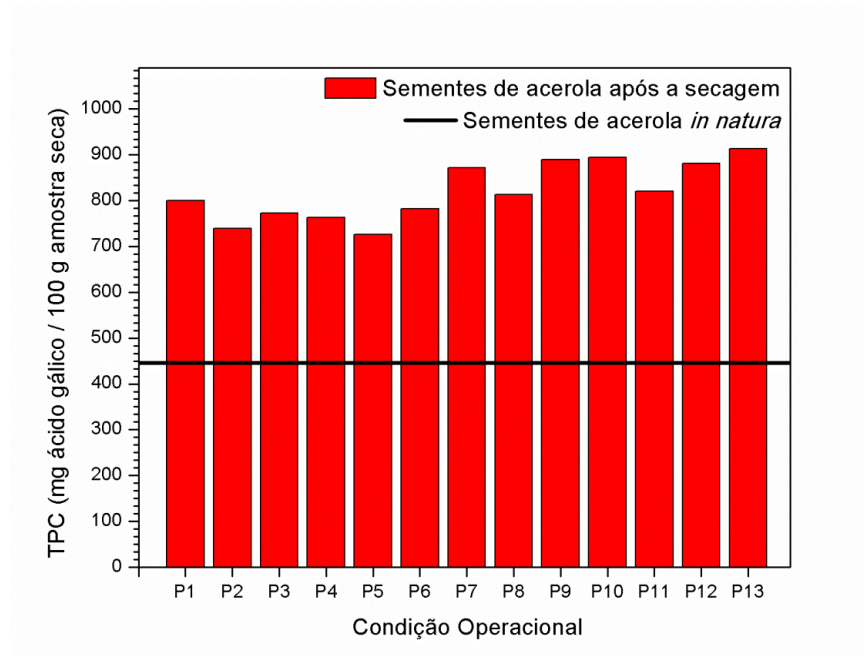


Figura 4.27: Fenólicos totais (TPC) para as diferentes condições do PCC.

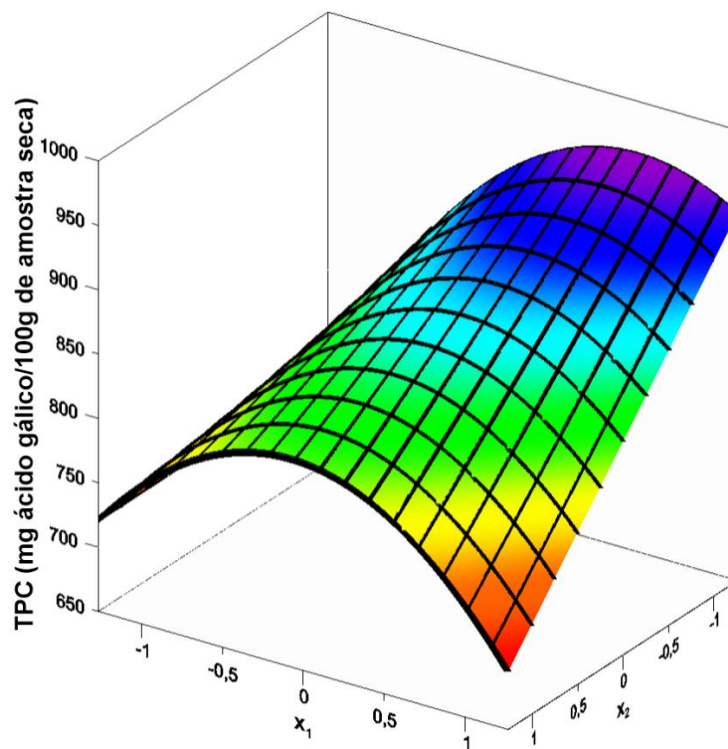


Figura 4.28: Fenólicos (TPC) em função das variáveis de codificação x_1 e x_2 .

O teor de compostos flavonoides totais, em mg de rutina, foram maiores após a secagem em relação aos resíduos *in natura*, como mostra a Figura 4.29. Os resultados indicam a necessidade de se trabalhar em condições intermediárias de temperatura e elevadas velocidades do ar de secagem, tendo em vista o teor de flavonoides (Figura 4.30).

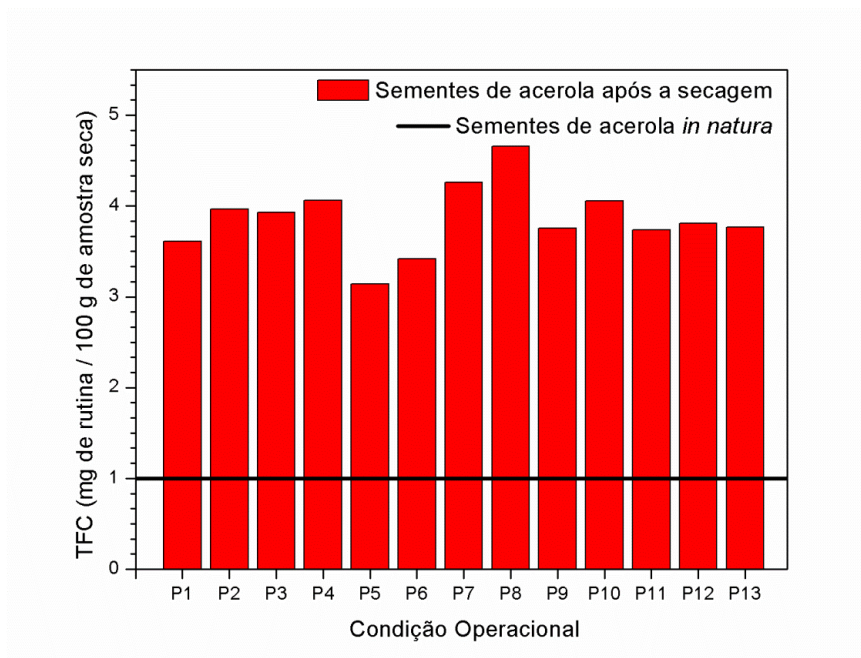


Figura 4.29: Flavonoides totais (TFC) para as diferentes condições do PCC.

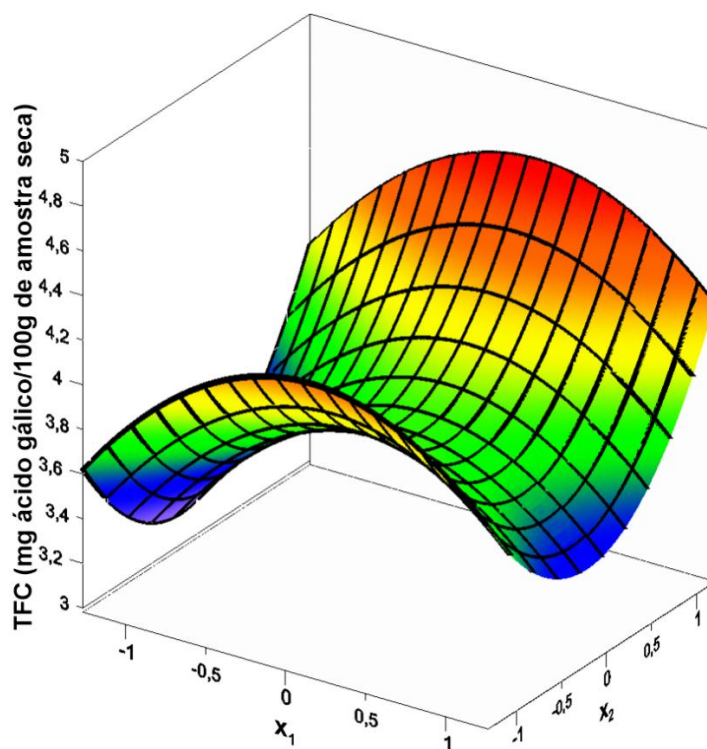


Figura 4.30: Flavonoides (TFC) em função das variáveis de codificação x_1 e x_2 .

Como pôde se observar apenas a concentração de ácido cítrico, diminui após a secagem. Os compostos fenólicos e flavonoides apresentaram teores superiores aos das sementes *in natura*. Isto, como já discutido, foi possível devido à liberação de compostos fenólicos da matriz durante o processamento do material. Verificou-se também que os teores de bioativos para as condições P4 e P6, as quais apresentaram maior taxa de secagem, foram próximos, sendo que apenas o teor de flavonoides obtidos na condição P4 (4,06 mg rutina/100g de amostra seca) apresentou uma diferença significativa em relação ao teor da condição P6 (3,42 mg rutina/100g de amostra seca). Estas condições operacionais (P4 e P6) são de elevadas temperaturas e velocidade do ar. Diante disso, para os próximos experimentos a condição P4 será utilizada, isto porque, ela garante uma elevada remoção de umidade e apresentou teores de compostos bioativos iguais ou superiores aos da condição P6.

Secagem em secador roto-aerado com as sementes previamente tratadas com etanol

Os resultados das cinéticas de secagem dos resíduos de acerola em infravermelho indicaram que o melhor tratamento para a pré-desidratação, dentre os estudados, foi o com etanol pulverizado. Dessa forma, a pré-desidratação com etanol teve os seus efeitos avaliados sobre a secagem em secador roto-aerado por meio de experimentos em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. Estas condições foram determinadas previamente de acordo com os resultados de um planejamento composto central, para isso considerou-se as condições de maior redução de água (P4), a de menor (P1) e o ponto central (P9). Estas condições estão apresentadas na Tabela 4.6. Vale ressaltar que foram realizados também experimentos com imersão dos resíduos de acerola no etanol.

Tabela 4.6: Condições Operacionais.

Condição Operacional	$T (^{\circ}\text{C})$	$v \text{ (m/s)}$
P1	80	1,50
P9	115	2,25
P4	150	3,00

A Figura 4.31 apresenta os resultados da umidade removida (%) das sementes de acerola sem tratamentos e para as imersas e as pulverizadas com etanol. Observa-se que para

as três condições, a remoção de água foi maior quando as sementes haviam sido imersas em etanol. Os resultados indicaram também que a pulverização de etanol sobre o resíduo de acerola foi vantajosa em relação à condição sem pré-tratamento em secagens realizadas a baixas temperaturas e velocidades do ar, como na condição P1, isto é, 80°C e 1,5 m/s. Nas condições P9 e P4, nas quais as temperaturas do ar de secagem foram 115°C e 150°C, respectivamente, a pulverização de etanol não se mostrou eficiente. Vale ainda ressaltar que foi possível remover até 48,3% de água do material (pré-tratamento com imersão em etanol) e que o tempo de residência médio da semente dentro do secador não ultrapassou 4 min.

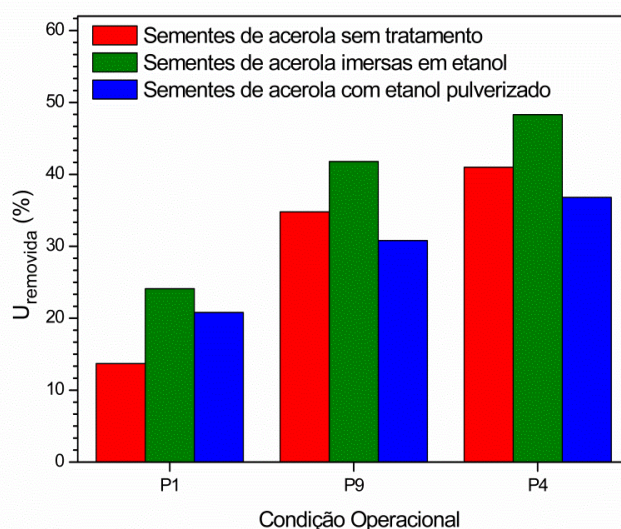


Figura 4.31: Umidade removida das sementes após a secagem em secador roto-aerado.

A Figura 4.32 mostra as concentrações de ácido cítrico em 100 g de resíduo seco nas três condições experimentais realizadas. Observa-se que dentre as condições estudadas, as sementes que não receberam tratamentos apresentaram maiores teores de ácido cítrico. Em contrapartida, as sementes de acerola imersas em etanol tiveram uma redução acentuada do teor de acidez. Isso ocorre devido ao gradiente de concentração da solução e da amostra, que implica na transferência de massa dos solutos da amostra para o etanol. Dessa forma, a pulverização seria uma forma de amenizar a diluição dos bioativos. Verifica-se ainda que a acidez foi menor nos resíduos após a secagem quando comparados às sementes *in natura*. Isto ocorre, como já discutido, devido à baixa estabilidade do ácido cítrico durante tratamentos térmicos.

Os teores de ácido ascórbico nas sementes após as secagens foram superiores aos das sementes *in natura*, conforme apresentados na Figura 4.33. Esses resultados foram similares aos obtidos nas secagens com infravermelho. E, como já discutido, provavelmente isto ocorre devido à inativação de enzimas responsáveis pela degradação do ácido ascórbico. Entretanto, os melhores resultados de ácido ascórbico foram obtidos para os resíduos que foram secos sem nenhum pré-tratamento.

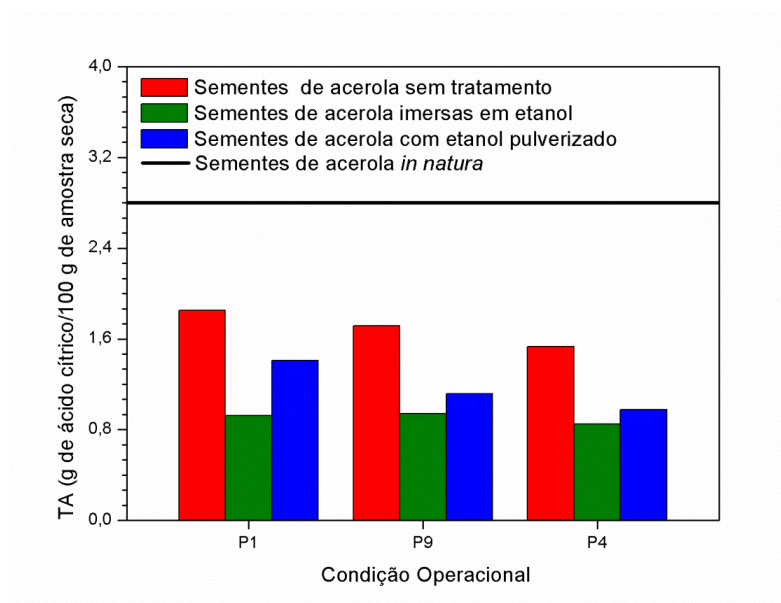


Figura 4.32: TA nas sementes após a secagem em secador roto-aerado.

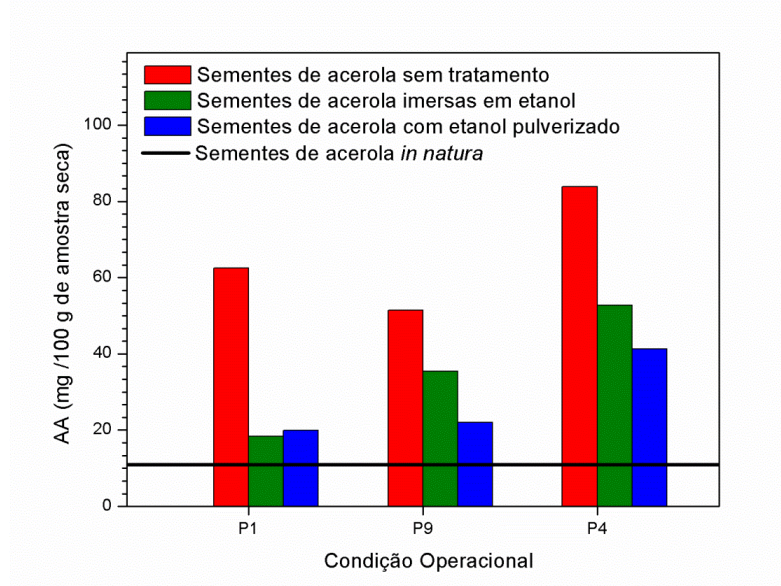


Figura 4.33: AA nas sementes *in natura* e após a secagem em secador roto-aerado.

Os teores de compostos fenólicos (Figura 4.34) mostraram-se maiores nas condições em que as sementes haviam sido tratadas com etanol pulverizado. Acredita-se que isso

ocorreu devido à maior extração dos compostos fenólicos da estrutura da semente quando as mesmas foram colocadas em contato com o etanol. Isto porque, como relatado no trabalho de Spagolla et al. (2009), as soluções etanoicas são muito eficientes na extração de fenólicos. A Figura 4.32, em que são apresentados os resultados para os teores de flavonoides, sugere que estes bioativos sejam mais sensíveis ao efeito da temperatura que ao pré-tratamento a que as sementes foram submetidas. Apenas na condição P4, cuja temperatura foi de 150°C, verificou-se um aumento dos flavonoides nas sementes tratadas com etanol em relação às sem tratamentos. Observa-se ainda que os resíduos apresentaram valores superiores aos *in natura*.

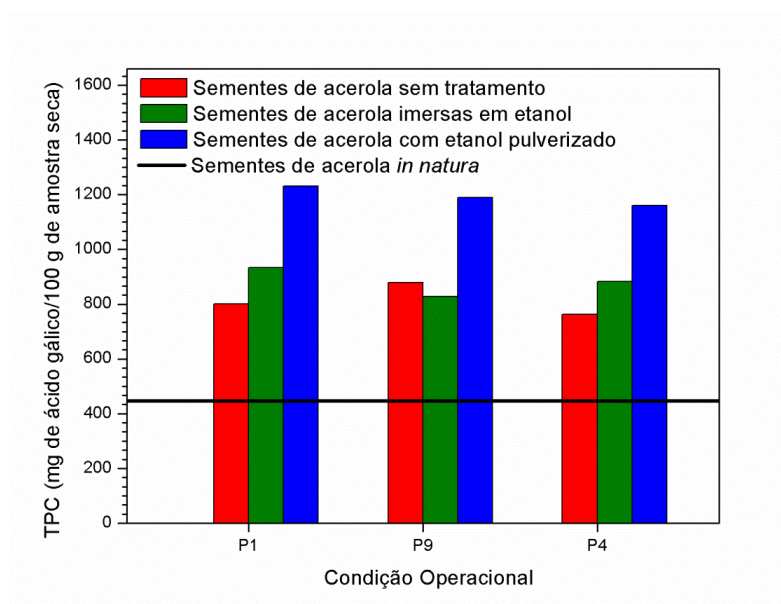


Figura 4.34: TPC nas sementes *in natura* e após as secagens no secador roto-aerado.

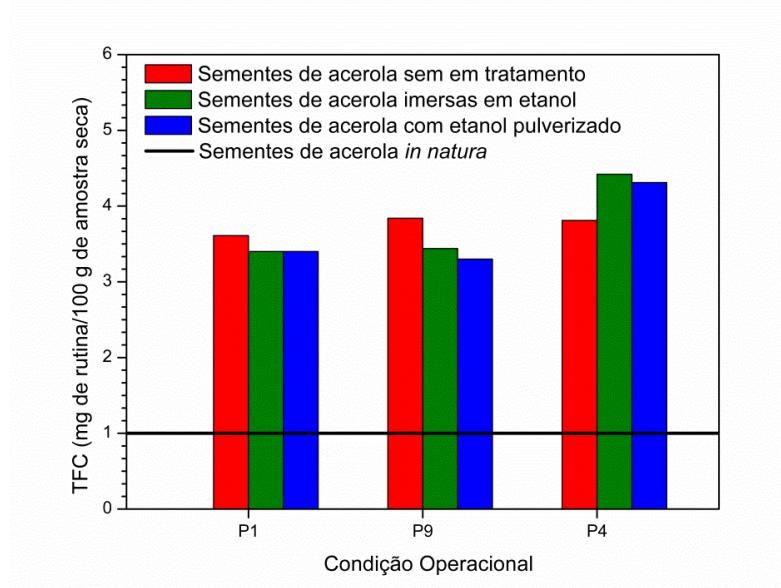


Figura 4.35: TFC nas sementes *in natura* e após a secagem em secador roto-aerado.

Os resultados mostraram o efeito benéfico do etanol como pré-tratamento das sementes de acerola antes da secagem em secador roto-aerado. Esse tratamento favoreceu a remoção de água e a extração dos compostos fenólicos, contudo, o teor de ácido cítrico, assim como na secagem sem etanol, sofreu redução. Observaram também que o secador roto-aerado foi uma boa alternativa para a secagem de sementes de acerola, considerando que houve a remoção de até 48,3% de água em um tempo médio de residência inferior a 4 min.

Realimentação dos resíduos de acerola no secador roto-aerado

As secagens foram realizadas com realimentação dos resíduos ao secador roto-aerado, nas mesmas condições de temperatura e velocidade do ar de secagem utilizadas para os experimentos com pré-tratamentos dos resíduos de acerola. Contudo, para estes experimentos foram utilizados um novo lote de sementes, as quais possuíam concentrações de bioativos diferentes das utilizadas nos demais experimentos. A Tabela 4.7 apresenta as concentrações dos bioativos nas sementes de acerola *in natura* do 2º lote.

Tabela 4.7: Compostos bioativos no resíduo de acerola do segundo lote.

Acidez (g ácido cítrico.100 g ⁻¹ de resíduo seco)	1,70±0,09
Ácido ascórbico (mg.100 g ⁻¹ de resíduo seco)	13,6±1,1
Fenólicos (mg de ácido gálico. 100 g ⁻¹ de resíduo seco)	746,2±19,9
Flavonoides (mg rutina. 100 g ⁻¹ de resíduo seco)	2,60±0,16

Os resultados dos compostos bioativos, após cada estágio das secagens, para as diferentes condições operacionais, estão apresentados nas Figuras 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 e 4.40. Estas concentrações de bioativos foram calculadas após cada estágio, nestas figuras é possível relacionar também os teores dos compostos bioativos em função da temperatura do sólido na saída do secador. Observa-se que, como era esperado, a umidade reduziu a cada estágio, enquanto a temperatura do sólido na saída do secador aumentou. Apenas entre os estágios 3, 4 e 5 da condição mínima de secagem (P1, temperatura e a velocidade do ar de secagem igual a 80°C e 1,5 m/s) não ocorreram aumento da temperatura do sólido. Verificou-se ainda que foram necessários, apenas 3 estágios na condição máxima P4 para reduzir a umidade das sementes a 6,7%, enquanto que para as condições P1 e P9, as sementes foram realimentadas 5 e 4 vezes e a umidade final foram iguais a 17,2% e 10,7%, respectivamente.

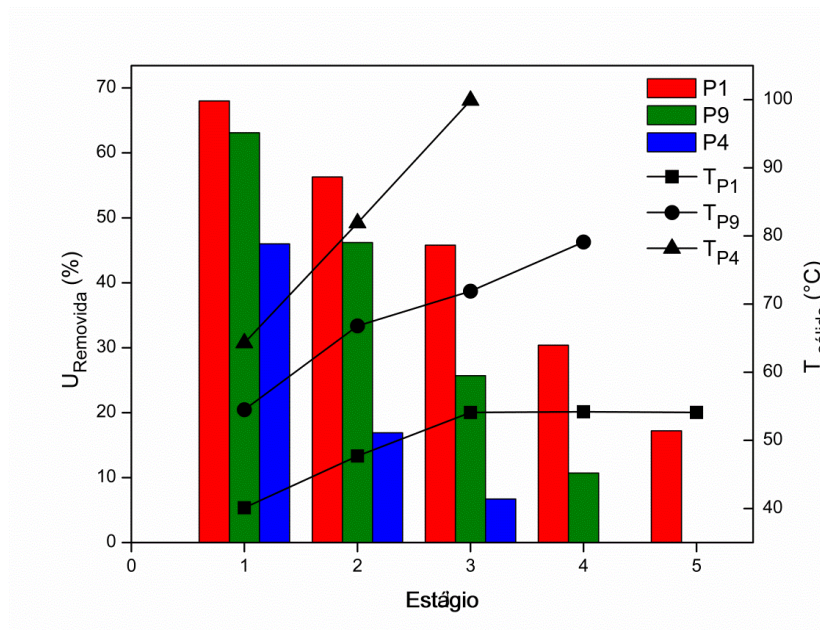


Figura 4.36: Umidade removida das sementes de acerola após cada estágio de secagem.

Os teores de ácido ascórbico (Figura 4.37), como nos demais resultados apresentados neste trabalho, tiveram efeito positivo em relação à secagem. No entanto, a análise conjunta das Figuras 4.37 e 4.38, no estágio 2 e 5, para P4 e P1 respectivamente, permitiu observar que os teores de ácido ascórbico foram iguais a 65,0 e 67,9 mg para as condições P4 e P1. Portanto, os resultados indicaram que os teores de ácido ascórbico, apesar de favorecidos pela secagem independem da faixa de temperatura do ar de secagem.

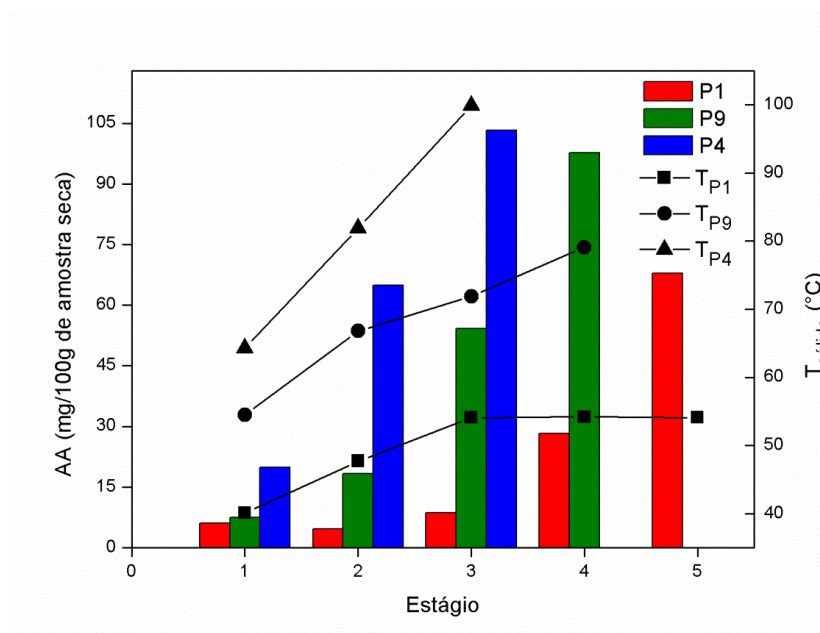


Figura 4.37: Ácido ascórbico (AA) nas sementes de acerola após cada estágio.

Os teores de ácido cítrico (Figura 4.38) também apresentaram comportamentos similares aos resultados já relatados neste trabalho, isto é, foram inferiores aos dos resíduos *in natura* e tiveram efeitos negativos com o aumento da temperatura do ar de secagem. No entanto, como para a condição P4 foram necessários apenas 3 estágios de secagem, o tempo de exposição do resíduo à elevada temperatura foi menor o que proporcionou uma menor redução do teor de ácido cítrico quando comparado com as condições P9 e P1.

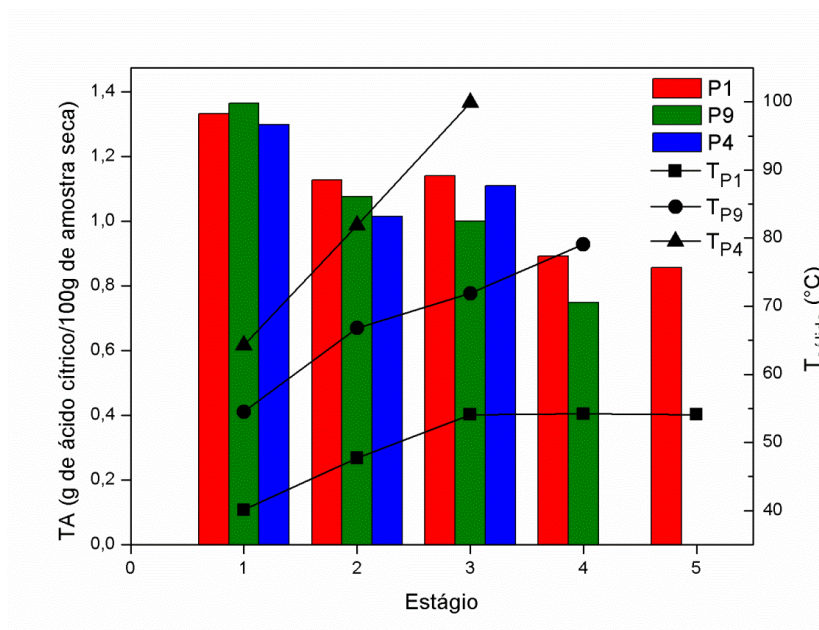


Figura 4.38: Acidez (TA) nas sementes de acerola após cada estágio.

Os teores de fenólicos (Figura 4.39) diminuiram a cada estágio, isto pode ocorrer devido à exposição prolongada à elevadas temperaturas que favorecem as degradações. Verifica-se, também, que na condição P1 (condição mínima) os teores dos compostos fenólicos foram superiores aos das demais condições. Dessa forma, o efeito negativo que a temperatura do ar de secagem exerceu sobre este bioativo foi superior ao efeito do tempo de exposição.

Os teores de flavonoides (Figura 4.40) apresentaram diminuição do teor seguido de aumento o qual pode ocorrer devido à liberação destes compostos da matriz durante o processamento.

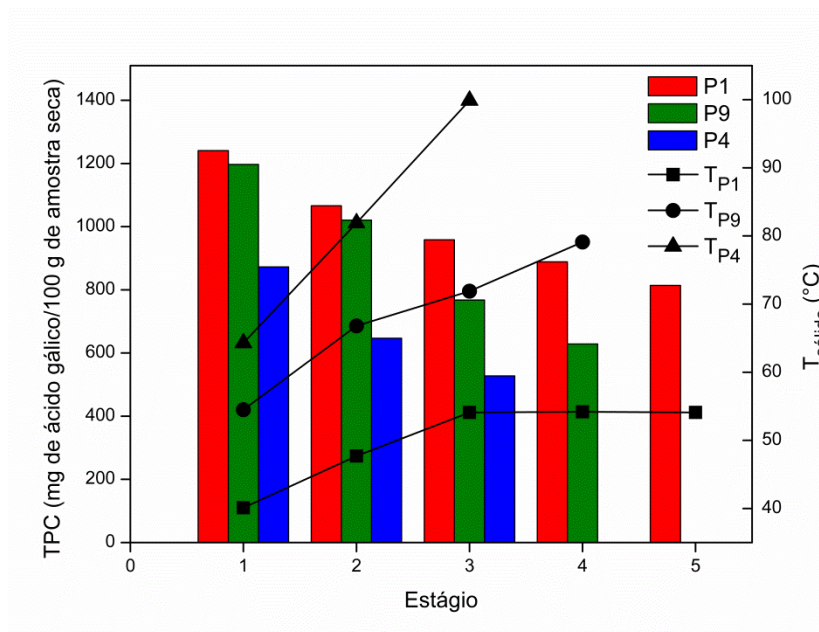


Figura 4.39: Fenólicos totais (TPC) nas sementes de acerola após cada estágio.

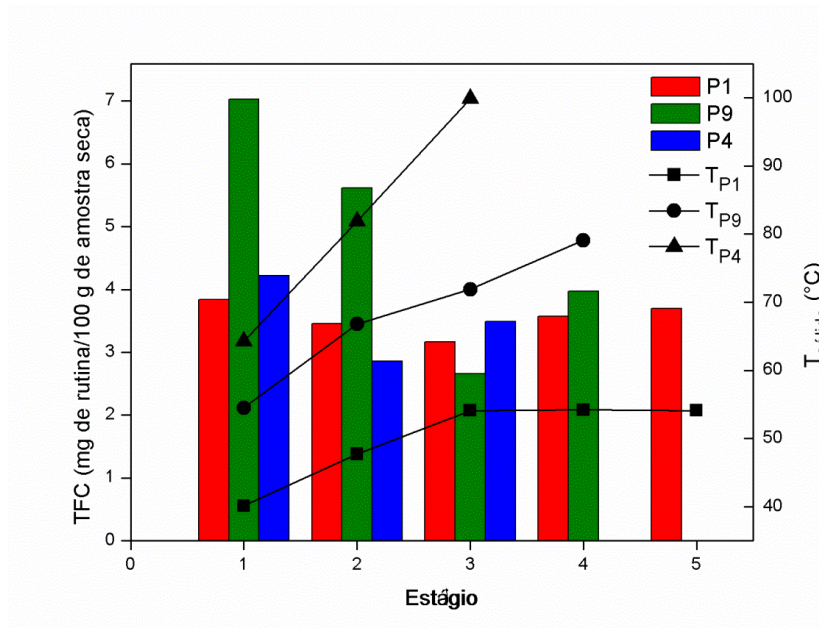


Figura 4.40: Flavonoides totais (TFC) nas sementes de acerola após cada estágio.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

A caracterização do resíduo mostrou que estes possuíam compostos anti-oxidantes que viabilizavam a secagem dos mesmos. As análises de calor específico mostraram a forte dependência em relação à umidade do material e à temperatura. Sendo que para umidades mais elevadas o efeito da temperatura sobre o calor específico foi mais acentuado que para umidades das sementes de acerola mais baixas.

As secagens em infravermelho permitiram observar o efeito benéfico do etanol pulverizado sobre a superfície das sementes de acerola. Este pré-tratamento favoreceu tanto a secagem quanto os teores de fenólicos e flavonoides após a secagem. Nas secagens em secador roto-aerado, este pré-tratamento mostrou-se favorável para condições operacionais mínimas, isto é, temperatura e velocidade do ar de secagem iguais a 80°C e 1,5 m/s. . No entanto, para as condições intermediárias (115°C e 2,25 m/s) e extremas (150 °C e 3,0 m/s) este pré-tratamento não implicou em aumentos significativos da remoção de umidade.

Os demais pré-tratamentos não se mostraram favoráveis, para as condições operacionais utilizadas neste trabalho. No entanto, outros estudos devem ser realizados a fim de encontrar novas formas de potencializar estes pré-tratamentos.

As análises de microscopia eletrônica de varredura permitiram observar que a estrutura dos resíduos que não sofreram pré-tratamento e aqueles que sofreram pré-tratamento com etanol foram muito parecidas, com muitos poros e aparência esponjosa. Isto pode explicar os comportamentos semelhantes destes materiais após a secagem, tendo em vista os aspectos qualitativos. Ao contrário dos resíduos tratados com sacarose e ultrassom que apresentaram uma estrutura menos porosa.

Os resultados das secagens em secador roto-aerado permitiram observar que mesmo para condições operacionais com elevadas temperaturas e velocidade do ar de secagem os teores dos compostos bioativos foram elevados. Para esta condição operacional os resíduos de acerola obtiveram umidades satisfatórias (6,7%) após até três estágios de secagem.

Além do que este secador gera um produto final homogêneo devido ao elevador teor de mistura e é capaz de processar elevado volume de material;

Observou-se também que os teores de compostos bioativos, com exceção dos teores de ácido cítrico, foram superiores nas sementes após a secagem. Os compostos fenólicos

foram superiores para condições de secagem com temperaturas mais baixas, em contrapartida, os flavonoides necessitam de condições operacionais intermediárias. Os teores de ácido cítrico e ascórbico mostraram-se dependentes não apenas da temperatura, mas também do tempo a que as sementes eram expostas à secagem. Sendo que, o tempo elevado de secagem, causou maior degradação destes compostos mesmo quando estes resíduos eram submetidos à temperaturas inferiores.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Secagem dos resíduos de acerola em secador rotatório convencional;
- Secagens com outras configurações do secador roto-aerado;
- Avaliação dos compostos biativos por cromatografia líquida de alta eficiência;
- Estudos com outras formas de pré-tratamento que diminuam o tempo de secagem convectiva e reduzam os custos operacionais;
- Estudo da fluidodinâmica de secagem de resíduos de acerola;
- Estudos de secagem em secador roto-aerado com outros resíduos do processamento de frutas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUD, A. K. S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. Braz. J. Food Technol., v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.
- AGUIAR, T. M. Caracterização Química e Avaliação do Valor Nutritivo de Sementes de Acerola. Revista da Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição, São Paulo, v.35, n.2, p.91-102, 2010.
- ALDRIGUE, M. L. Aspectos da Ciência e Tecnologia de Alimentos e Nutrição. João Pessoa: Editora UFPB, v. 1, p.198, 2002.
- ALMEIDA, J. A. R. Desidratação osmótica de banana (*Musa spp.*): cinética de desidratação e avaliação de compostos bioativos. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.
- ÁLVAREZ, P. I.; SHENE, C. - Experimental study of residence time in a direct rotary dryer. Drying Technology, v. 12, p. 1629-1651, 1994.
- ALVES, D. G.; JÚNIOR, J. L. B.; GRAZIELLA, C. A.; MURR, F. E. X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.). Journal of Food Engineering, 68, p. 99-103, 2004.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, 1995. NONHEBEL, M. A. G. & MOSS, A. A. H. Drying of Solids in the Chemical Industry. Butterworths, Londres, Inglaterra, p. 301, 1971.
- ARAÚJO, C. L. Desenvolvimento de sensor de potenciométrico baseado em eletrodos de carbono grafite para determinação de ácido cítrico em bebidas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- ARRUDA, E. B. Comparação do desempenho do secador roto-fluidizado com o secador rotativo convencional: secagem de fertilizantes. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
- ARRUDA, E. B.; FAÇANHA, J. M. F.; PIRES, L. N.; ASSIS, A. J.; BARROZO, M. A. S. Conventional and modified rotary dryer: Comparison of performance in fertilizer drying, Chem. Eng. and Process, vol 48, p 1414-1418, 2009.
- BRAGA, A. M. P.; SILVA, M. A.; PEDROSO, M. P.; AUGUSTO, F.; BARATA, L.E.S. Volatile composition changes of pineapple during drying in modified and controlled atmosphere. International Journal of Food Engineering, 2010.

- BARBOZA, S. B. S. C.; TAVARES, E. D.; MELO, M. B. Instruções para o cultivo da acerola. In: Técnica circular nº 6, Embrapa, 2006.
- BARROZO, M. A. de S. Transferência de calor e massa entre o ar e sementes de soja em leito deslizante e escoamento, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.
- BARROZO, M.A.S., SARTORI, D.J.M., FREIRIE, J.T., ACHCAR, J.A., Discrimination of equilibrium moisture equations for soybean using nonlinearity measures. Drying Technology, v. 14, p. 1779–1794, 1996.
- BENDICH, A.; LANGSETH, L. The health effects of vitamin C supplementation, a review. Journal American College Nutrition, v.14, p.124-136, 1995.
- BEHLING, E. B.; SENDÃO, M. C.; FRANCESCATO, H. D. C.; ANTUNES, L. M. G.; BIANCHI, M. L. P. Flavonoide quercetina: aspectos gerais e ações biológicas. Alim. Nutri., Araraquara, v.15, n.3, p. 285-292, 2004.
- BOBBIO, F. O. BOBBIO, P. A. Introdução a química de alimentos, 2. Ed. São Paulo, 1995.
- BORTOLOTTI, C. T. Estudo experimental da fluidodinâmica de uma mistura de resíduo de acerola e soja em leito de jorro. Dissertação de mestrado. UFU, Uberlândia, 2012.
- BRAGA, A. M. P.; SILVA, M. A.; PEDROSO, M. P.; AUGUSTO, F.; BARATA, L.E.S. Volatile composition changes of pineapple during drying in modified and controlled atmosphere. International Journal of Food Engineering, 2010.
- BRAGA, A. C. D.; LIMA, M. S.; AZEVEDO, L. C.; RAMOS, E. C. Caracterização e obtenção do resíduo gerado no processo industrial de clarificação do suco de acerola. Revista Semiárido de Visu. v.1, n.2, p.126, p.126-133, 2011.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W. & Hall, C. W.. Drying Cereal Grains, Westport, CT, USA, 1974.
- CALEGARI, L. Uso da onda ultrassônica como meio de controle do processo de secagem da madeira. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. 2006.
- CAMPO, C. Desidratação osmótica de morangos cv. Aromas. Trabalho de conclusão de curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Bento Gonçalves. Bento Gonçalves, 2012.
- CELMA, A. R.; CUADROS, F.; LÓPEZ-RODRÍGUES, F. Characterization of industrial tomato by-products from infrared drying processes. Food and Bioprod. Process., v. 87, p. 282-291, 2009.
- CHANG, C. H., Lin, H. Y., CHANG, C. Y., LIU, Y. C. Comparisons on the Antioxidant

- Properties of Fresh, Freeze-Dried and Hot-Air-Dried Tomatoes. Journal of Food Engineering, 77, p. 478-485, 2006.
- CORRÊA, J. L. G.; CACCIATORE, F. A.; SILVA, Z. E.; ARAKAKI, T. Desidratação osmótica de acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) - Cinética de transferência de massa. Rev. Ciência Agron. v. 39, p. 403-409, 2008.
- COSTA, D. M. Estudo da secagem infravermelho de sementes de girassol. Dissertação de mestrado. Universidade Tiradentes, Aracaju, 2010.
- DIPLOCK, A. T.; CHARLEUX, J. L.; CROZIER-WILLI, G.; KOK, F. J.; RICE-EVANS, C.; ROBERFROID, M.; STAHL, W.; VINÃ-RIBES, J. Functional food Science and defence against reactive oxidative species. British Journal of Nutrition, v. 80, p.77-112, 1988.
- DUZZIONI, A. G., LENTON, V. M., SILVA, D. I. S., BARROZO, M. A. S. Effect of drying kinetics on mais bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) residue. International Journal of Food Science & Technology, v.48, p. 1041-1047, 2013.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e suco de frutas. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Adubando para alta produtividade e qualidade, fruteiras tropicais do Brasil. Embrapa Agroindustrial tropical, Fortaleza, CE, 2009.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina, DF, 2010.
- FASINA, O. O.; TYLER, B.; PICKARD, M. Infrared heating of legume seeds effect on physical and mechanical properties. ASAE Paper N°: 976013, 1997.
- FDA. Listing of food additive status, Part I, October 2010. <http://www.fda.gov/Food/FoodIngredientsPackaging/FoodAdditives/FoodAdditiveListings/ucm091048.htm> (accessed November 22, 2010).
- FERGUSON, L. R. Role of plant polyphenols in genomic stability. Mutat Res., v.475, p. 89-111, apr., 2001.
- FERNANDES, N. J. Estudo da fluidodinâmica e da secagem de um secador rotatório da indústria de fertilizantes. Dissertação de mestrado. UFU, Uberlândia, 2008.

- FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. LWT, v. 41, p. 604-610, 2008.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying their bases and limitations as applied to food and grains. In: MUJUMDAR, A. S. Avances in drying. Washington: Hemisphere, p. 119-154, 1980.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. Princípios das Operações Unitárias, 2 ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro – RJ, 1982.
- FRANKEL, E. N.; HUANG, S. W.; AESCHBACH, R.; PRIOR, E. Antioxidant activity of a Rosemary extract and its constituents, carnosic, carnosol and rosmarinic acid in bulk oil and oil-in-water emulsion. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Califórnia, v. 44, p. 131-135, jan., 1996.
- FREITAS, C. A. S. Acerola: Produção, Composição, Aspectos Nutricionais e Produtos. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v.12, n.2, p. 395-400, 2006.
- FUENTE-BLANCO, S., SARABIA, E. R., ACOSTA-APARICIO, V.M., BLANCO-BLANCO, A. GALLEGU-JUÁREZ, J. A. Food drying process by power ultrasound. Ultrasonics, 44, p.523-527, 2006.
- GALEAZZI, M. A. M. Alimentação Adequada para Elaboração do Sistema “Melhores Compras”. Revista Cadernos de Debate. Campinas, v.7, p.65-80, 1999.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel, p.512, 2008.
- GARCIA, D. M. Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola. Dissertação de mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 2004.
- GOMES, A. T.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v.3, n.3, p. 212-226, set-dez, 2007.
- GOMES, S. M. C. Determinação de antioxidantes por cromatografia líquida de alta pressão com detecção eletroquímica. Dissertação de mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010.
- GONDIM, J. A. M. Composição Centesimal e de Minerais em Casca de Frutas. Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos. São Paulo, v.25, n.4, p.825-827, out. /dez.2005.
- GUILLAND, J. C.; LEQUEU, B. As vitaminas do nutriente ao medicamento. São Paulo: Santos, 1995.

- HASLER, C. M. Function foods: Their role in disease prevention and health promotion. Food Technology, vol. 52, n.11, nov., 1998.
- HENDERSON, J. M. & HENDERSON, S. M. A computational procedure for deep-bed drying analysis. Journal of Agricultural Engineering Research, **13**, 87–95, 1968.
- HERRMANN, K. M.; WEAVER, L. M. The shikimate pathway. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. Palo Alto, CA, v.50, n.1, p.473-503, 1999.
- JAMBRAK, A. R.; MASON, T. J.; PANIWNKY, L.; LELAS, V. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. Journal of food engineering, v. 81, p.88-97, 2007.
- KALENTUNÇ, G. Prediction of specific heat of cereal flours: A quantitative empirical correlation. Journal of Food Engineering, v.82, p.589-594, oct., 2007.
- KIM, D. J.; SHIN, D. H.; AHN, B.; KANG, J. S.; NAM, K. T.; PARK, C. B.; KIM, C. K.; KIM, Y. B.; TUN, Y. W.; JANG, D. D.; YANG, K. H. Chemoprevention of colon cancer by Korean food plant components. Mutation Research / Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, v. 523-524, p.99-107, feb./mar., 2003.
- KIRK, R. E.; OTMER, D. F.; GRAYSON, M.; ECKROTH, D. Kirk-othmer encyclopedia of chemical technology. v.6, 1 ed., New York: John Wiley and Sons, 1979.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. Indian Chemical Engineer, v.13, p.427, 1921.
- LISBOA, M. H.; VITORINO, D. S.; DELAIBA, W. B.; FINZER, J. R. D. ; BARROZO, M. A. S. A study of particle motion in rotary dryer, Braz J. Chem. Eng., v. 24, p. 365-374, 2007.
- LOPES, R. M. VER RESTO, Flavonoides. Revista Biotecnologia, Ciencia e Desenvolvimento, São Paulo, 17, 18-22, nov/dez 2000.
- MANELA-AZULAY, MANDARIM-DE-LACERDA, C. A.; M.; FILGUEIRA, A. L.; CUZZI, T. Vitamina C. In: Anais Brasileiros de Dermatologia, Rio de Janeiro, v.78 (3), p. 265-274, maio/jun, 2003.
- MARCINKOWSKI, E. A. Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja. Dissertação de mestrado. UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. Tese de doutorado, UFSCar. São Carlos, 2008.
- MARQUES, T. R. Aproveitamento tecnológico de resíduos de acerola: farinhas e barras de

- cereais. Dissertação de mestrado, UFLA, Lavras, 2013.
- MARTINEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, v. 50, n. 1, p. 5 – 18, 2000.
- MATCHETT, A. J.; BAKER, C. G. J. - Particle residence times in cascading rotary dryers. Part 1: derivation of the two stream model. Journal of Separation Process Technology, v.8, p. 11-17, 1987.
- MATSUURA, F. C. A. U. et al Avaliações físico-químicas em frutos de diferentes genótipos de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.). Revista Brasileira de Fruticultura, v. 23, n. 3, p. 602-606, 2001.
- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOREIRA, M.F.P. Secagem de gel Agar, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p. 104, 2000.
- MOREIRA, G. E. G.; COSTA, M. G. M.; SOUZA, A. C. R.; BRITO, E. S.; MEDEIROS, M. F. D.; AZEREDO, H. M. C. Physical properties of spray dried acerola pomace as affected by temperature and drying aids. Food Science and Technology, v. 42, p. 641-645, 2009.
- MOTTA LIMA, O. C.; ALVES, C. E. S.; PEREIRA, N. C.; MENDES, E. S. Isotermas de equilíbrio para celulose do tipo fibra longa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 14, 2002, Natal, 2012. Anais ... Natal, RN: ABEQ, 2002, CD-ROM.
- MOYERS, C. G. and BALDWIN, G. W., Psychrometry, Evaporative Cooling and Solids Drying. In: PERRY, R. H.; GREEN, D. W.. In: Perry's Chemical Engineers' Handbook, Nova York, Estados Unidos, Ed. Mac Graw-Hill, 7 th edition, Cd-ROM, p. 12-1: 12-90, 1999.
- MUJUMDAR A.S.; KROKIDA M. and MARINOS-KOURIS D., Rotary Drying. In:____. Handbook of Industrial Drying, 3 ed., p 151-172, 2007.
- NETO, R. A. T.; DENIZO, N.; QUAST, D. G. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, v. 7, p.191-206,1976.
- NÓBREGA, E. M. M. A. Secagem do resíduo de acerola (*Malpighia emarginata* DC.): Estudo do processo e avaliação do impacto sobre o produto final. Dissertação de mestrado. UFRN. Natal, RN, 2012.

- NOGUEIRA, R. J. M. C; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; SILVA JUNIOR, J. F. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 37, p. 463-470, abril, 2002.
- ORDÓÑEZ, J.A. Tecnologia de Alimentos. Tradução: Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, p.25-31; 201-203. 2005.
- OLIVEIRA, J. R. P.; SOARES FILHO, W. S. Situação da cultura da acerola no Brasil e ações da Embrapa Mandioca e Fruticultura em recursos genéticos e melhoramento. In: Simpósio de recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro. Petrolina, PE, 1998.
- OLIVEIRA, M. L. N. Estudo experimental das solubilidades de alguns ácidos em misturas hidro-alcoólicas. Dissertação de mestrado, Uberlândia, UFU, 2009, 340p.
- OVERHULTS, D. G.; WHITE, G. M.; HAMILTON, H. E.; ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air, Transactions of the ASAE, v. 16, p. 112-113, 1973.
- OZGUR, M., OZCAN, T., AKPINAR-BAYIZIT, YILMAZ-ERSAN, L. Functional compounds and antioxidant properties of dried green and red peppers. African Journal of Agricultural Research, v.6 , p.5638-5644, 2011.
- PAGE, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer. Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 1949.
- PELZER, L. E.; GUARDIA, T.; JUAREZ, O. A.; GUERREIRO, E. Acute and chronic antiinflammatory edects of plant flavonoids, Farmaco, v. 53, p.421-424, 1998.
- PERAZZINI, H. Secagem de resíduos cítricos em secador rotativo. Dissertação de mestrado. UFSCar, São Carlos, 2011.
- PEREIRA, V. R. Ácido ascórbico – características, mecanismos de atuação e aplicações na indústria de alimentos. Trabalho acadêmico apresentado ao curso de Bacharelado em Química de Alimentos. UFPel. Pelotas, 2008.
- PODSEDEK, A. Natural Antioxidants and Antioxidant Capacity of Brassica Vegetables: A review. LWT: Journal of Food Composition and Analysis, 40, p.1-11, 2007.
- PRADO, M. M. Secagem em leito fixo de sementes com mucilagem. UFSCar. São Carlos, 2004.
- RATNAM, D.; ANKOLA, D.; BHARDWAJ, V.; SAHANA, D.; KUMAR, M. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. J. Control Release, v. 113, n.2, p. 189-207, 2006.
- RESENDE, A. C. Concepção, modelação e simulação de um secador de pão moído.

- Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 2012.
- RIBEIRO, V. S.; SOBRAL, M. C.; AMEIDA, M. M.; SILVA, G. F. Propriedades físicas de produtos agrícolas. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4, n.1, p.1-6, 2002.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. Química de alimentos. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, p. 183, 2007.
- RICE-EVANS, C. A.; Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology and Medicine, v.20, p.933-965, 1996.
- ROOS, Y. Characterization of food polymers using state diagrams. Journal of Food Engineerig, v. 24, p. 339-360, 1995.
- SANTOS, C. J. R. Secagem de sementes de girasol via radiação infravermelho e convecção forçada de ar aquecido. Dissertação de mestrado, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2009.
- SANTOS, P.H.S.; SILVA, M.A. Preliminary study of ascorbic acid retention during drying of pineapple in ethanolic atmosphere. In: 16th International Drying Symposium (IDS 2008), 2008.
- SANTOS, K. O.; NETO, B. A. M.; OLIVEIRA, S.; RAMOS, M. E. C.; AZEVEDO, L. C. Obtenção de farinha com o resíduo de acerola (*Malpighia Glabra L.*). In: Congresso de pesquisa e Inovação da rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2010.
- SANTOS-SÁNCHEZ, N. F., VALADEZ-BLANCO, R., GÓMEZ-GÓMEZ, M. S., PÉREZ-HERRERA, A., SALAS-CORONADO, R., Effect of rotating tray drying on antioxidante components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. Food science and technology, 46, p. 298-304, 2011.
- SIES H. Oxidative stress: From basic research to clinical application. Am J Med, 91: 31S-*s, 1991.
- SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, p.21-37, 2000.
- SILVA, M. A. C.; CORRÊA, J. L. G.; ZAQUEU, E. S. Application of inverse methods in the osmotic dehydration of acerola. Inter. J. Food Science Technol., v. 45, p. 2477–2484, 2010.
- SILVÉRIO, B. C. Estudos Fluidodinâmicos e de Secagem de Fertilizantes em Diferentes Tipos de Secadores Roto-aerados, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2012.

- SINGLETON, V.L.; Rossi, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic_phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture v.16, p.144-158, 1965.
- SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. Ciênc. Agrotec., v.35, n.3, p.554-559, maio/jun, 2011.
- SPAGOLLA, L. C.; SANTOS, M. M.; PASSOS, L. M. L; AGUIAR, C. L., Extração alcoólica de fenólicos e flavonoides totais de mirtilo “Rabbiteye” (*Vaccinium ashei*) e sua atividade antioxidante. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, v.30, p.187-191, 2009.
- SWEAT, V. E. Thermal properties of food. Engineering properties of foods, 2 ed., New York, 1995.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Armed Editora, 2004.
- TEMPLE, N. J. Antioxidants and disease: More questions than answers. Nutrition Research, South Africa, v. 20, p. 449-459, mar., 2000.
- TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. Journal of food engineering, v.49, p. 247-253, 2001.
- TOSATO, P. G. Influência do etanol na secagem de maçã fuji. Dissertação de mestrado. UFla. Lavras, 2012.
- VASCONCELOS, V. R. Utilização de Subprodutos do Processamento de Frutas na Alimentação de Caprinos e Ovinos. In: Seminário Nordeste de Pecuária – Pecnordeste, Anais, FAEC, p. 83-99, Fortaleza, 2002.
- VASCO, C. Phenolic compounds in ecuadorian fruits. Tese de doutorado. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, 2009.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WON, M. Effect of air-drying Temperature on Physico-chemical Properties, Antioxidant Capacity, Colour and Total Phenolic Content of Red Pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *Hungarian*). Food Chem, v. 117, p. 647-652, 2009.
- VENDRAMINI, A. L.; TRUGO, L. C. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.) at three stages of maturity. Food Chemistry, v. 71, p.195 – 198, 2000.

- VÉRAS, A. O. M. Secagem de pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) em secador convectivo horizontal. Dissertação de mestrado. UFSCar, São Carlos, 2010.
- YU, D.; DAHEGREN, R.A. Evaluation of Methods for Measuring Polyphenol in Coniter Foliage. J. Chem. Ecology, 26, p.2119-2140, 2000.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and their Scavenging Effects on Superoxide Radicals. Food Chem., v.64, p.555-559, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – RESULTADOS OBTIDOS DAS SECAGENS EM SECADOR ROTO-AERADO (PCC)

Condição Operacional	T (°C)	v (m/s)	τ (min)	T _{sólido} (°C)	R _w (g/min)	U _{retirada} (%)	TA (g ác.cítrico/100g de amostra seca)	TPC (mg ác. gálico/100g de amostra seca)	TFC (mg rutina/100g de amostra seca)
P1	80,0	1,50	4,4	39,5	6,2	13,7	2,22	800,3	3,61
P2	80,0	3,00	3,4	41,6	8,0	20,5	1,96	740,0	3,97
P3	150,0	1,50	3,1	61,1	12,8	28,5	1,98	772,5	3,93
P4	150,0	3,00	3,3	64,6	18,5	41,0	1,84	762,9	4,06
P5	70,6	2,25	4,0	36,1	8,5	17,4	2,15	726,6	3,14
P6	159,3	2,25	3,2	70,6	20,7	45,8	1,94	782,0	3,42
P7	115,0	1,30	3,7	58,0	10,3	22,9	2,11	872,1	4,26
P8	115,0	3,20	3,7	56,3	12,6	29,5	1,88	812,9	4,65
P9	115,0	2,25	4,0	57,6	15,6	34,6	2,06	889,2	3,76
P10	115,0	2,25	3,9	56,6	15,8	35,0	2,05	893,9	4,06
P11	115,0	2,25	4,1	53,7	15,7	34,8	2,12	821,0	3,74
P12	115,0	2,25	4,0	55,4	15,6	34,7	2,06	880,8	3,81
P13	115,0	2,25	4,0	52,1	15,5	34,5	2,03	913,6	3,77

**APÊNDICE 2 – RESULTADOS DAS SECAGEN EM SECADOR ROTO-AERADO NOS QUAIS AS SEMENTES
FORAM PREVIAMENTE TRATADAS COM ETANOL**

Condição Operacional	T (°C)	v (m/s)	U _{retirada} (%)	TA (g ác.cítrico/ 100g de amostra seca)	AA (g ác.ascórbico/ 100g de amostra seca)	TPC (mg ác. gálico/100g de amostra seca)	TFC (mg rutina/100g de amostra seca)
P1	80,0	1,50	13,7	2,22	62,5	800,3	3,61
P4	150,0	3,00	41,0	1,84	83,9	762,9	4,06
P9	115,0	2,25	34,6	2,06	51,5	889,2	3,76
P1 (imersão)	80,0	1,50	24,1	1,11	18,3	933,5	3,40
P4 (imersão)	150,0	3,00	48,3	1,02	52,8	883,0	4,42
P9 (imersão)	115,0	2,25	41,8	1,13	35,4	827,8	3,44
P1 (pulverização)	80,0	1,50	20,8	1,69	19,9	1230,8	3,40
P4 (pulverização)	150,0	3,00	36,8	1,17	41,3	1189,9	4,31
P9 (pulverização)	115,0	2,25	30,8	1,34	22,0	1160,5	3,30

**APÊNDICE 3 – RESULTADOS DAS SECAGENS EM SECADOR ROTO-AERADO COM REALIMENTAÇÃO
DAS SEMENTES DE ACEROLA**

Condição Operacional	T _{sólido} (°C)	U _{retirada} (%)	TA (g ác.cítrico/ 100g de amostra seca)	AA (g ác.ascórbico/ 100g de amostra seca)	TPC (mg ác. gálico/100g de amostra seca)	TFC (mg rutina/100g de amostra seca)
P1 - 1	40,1	68	1,33	6,1	1240,9	3,84
P1 - 2	47,7	56,3	1,13	4,6	1066,3	3,46
P1 - 3	54,1	45,8	1,14	8,7	958,4	3,16
P1 - 4	54,2	30,4	0,89	28,3	888,9	3,58
P1 - 5	54,1	17,2	0,86	67,9	813,9	3,70
P4 - 1	64,3	46	1,30	19,9	872,5	7,03
P4 - 2	81,9	16,9	1,01	65	646,9	5,61
P4 - 3	99,9	6,7	1,11	103,3	527,6	2,66
P9 - 1	54,5	63,1	1,36	7,5	1197,3	3,97
P9 - 2	66,8	46,2	1,07	18,3	1020,9	4,22
P9 - 3	71,9	25,7	1,00	54,3	767,6	2,86
P9 - 4	79,1	10,7	0,75	97,7	628,5	3,49

**APÊNDICE 4 – RESULTADOS DAS CINÉTICAS DE SECAGEM
EM INFRAVERMELHO PARA OS DIFERENTES MODELOS
CINÉTICOS CITADOS NA METODOLOGIA**

Acerola				
Nº do modelo	Temperatura (°C)	Constantes dos modelos	Desvio	r²
1 Lewis	50°C	k=0,000158	<0,001	0,9843
	60°C	k=0,000207	<0,001	0,9888
	70°C	k=0,000302	<0,001	0,9799
	80°C	k=0,000345	<0,001	0,9797
	90°C	k=0,000418	<0,001	0,9944
	100°C	k=0,000574	<0,001	0,9795
2 Brooker	50°C	k=0,000165	<0,001	0,9879
		C=1,044612	0,014	
	60°C	k=0,000217	<0,001	0,9925
		C=1,045589	0,012	
	70°C	k=0,000322	<0,001	0,9862
		C=1,058115	0,019	
	80°C	k=0,000367	<0,001	0,9855
		C=1,052434	0,019	
	90°C	k=0,000435	<0,001	0,9964
		C=1,031874	0,010	
	100°C	k=0,000613	0,023	0,9847
		C=1,050063	<0,001	
3 Henderson	50°C	k=0,000153	0,018	0,9789
		C=0,966457	<0,001	
	60°C	k=0,000201	0,016	0,9848
		C=0,967621	<0,001	
	70°C	k=0,000299	0,023	0,9766
		C=0,980531	<0,001	
	80°C	k=0,000340	0,024	0,9753
		C=0,975643	<0,001	
	90°C	k=0,000402	<0,001	0,9918
		C=0,957828	0,014	
	100°C	k=0,000068	0,0208	0,9847
		C=0,945052	<0,001	
4 Overhults	50°C	k=0,000153	<0,001	0,9990
		n=1,341883	0,018	
	60°C	k=0,000201	<0,001	0,9996
		n=1,294013	0,0120	
	70°C	k=0,000293	<0,001	0,9993
		n=1,431544	0,021	
	80°C	k=0,000338	<0,001	0,9993
		n=1,418528	0,023	
	90°C	k=0,000413	<0,001	0,9984
		n=1,159785	0,026	
	100°C	k=0,000577	<0,001	0,9991
		n=1,427534	0,030	
5 Page	50°C	k=0,000008	<0,001	0,9990
		n=1,341888	0,018	
	60°C	k=0,000016	<0,001	0,9996
		n=1,294012	0,012	
	70°C	k=0,000009	<0,001	0,9994
		n=1,431544	0,021	
	80°C	k=0,000012	<0,001	0,9993
		n=1,418529	0,023	
	90°C	k=0,000119	<0,001	0,9984
		n=1,159793	0,026	
	100°C	k=0,000024	<0,001	0,9991
		n=1,427537	0,030	

Acerola com etanol				
Nº do modelo	Temperatura (°C)	Constantes dos modelos	Desvio	r²
1 Lewis	50°C	k=0,000207	<0,001	0,9930
	60°C	k=0,000300	<0,001	0,9916
	70°C	k=0,000376	<0,001	0,9878
	80°C	k=0,000436	<0,001	0,9799
	90°C	k=0,000536	<0,001	0,9764
	100°C	k=0,000627	<0,001	0,9838
2 Brooker	50°C	k=0,000215	<0,001	0,9949
		C=1,033899	0,010	
	60°C	k=0,000314	<0,001	0,9944
		C=1,041059	0,012	
	70°C	k=0,000399	0,014	0,9924
		C=1,048055	<0,001	
	80°C	k=0,000468	<0,001	0,9865
		C=1,057006	0,020	
	90°C	k=0,000581	0,023	0,9846
		C=1,062792	<0,001	
	100°C	k=0,000679	<0,001	0,9907
		C=1,057506	0,018	
3 Henderson	50°C	k=0,000200	<0,001	0,9888
		C=0,957480	0,014	
	60°C	k=0,000292	<0,001	0,9879
		C=0,965081	0,016	
	70°C	k=0,000369	<0,001	0,9842
		C=0,971949	0,020	
	80°C	k=0,000433	<0,001	0,9765
		C=0,981077	0,025	
	90°C	k=0,000536	0,028	0,9737
		C=0,987469	<0,001	
	100°C	k=0,000623	<0,001	0,9812
		C=0,983039	0,025	
4 Overhults	50°C	k=0,000202	<0,001	0,9994
		n=1,219237	0,012	
	60°C	k=0,000293	<0,001	0,9998
		n=1,262013	0,008	
	70°C	k=0,000372	<0,001	0,9997
		n=1,307751	0,012	
	80°C	k=0,000433	<0,001	0,9997
		n=1,424598	0,017	
	90°C	k=0,000540	<0,001	0,9997
		n=1,467308	0,018	
	100°C	k=0,000639	<0,001	0,9998
		n=1,354875	0,013	
5 Page	50°C	k=0,000031	<0,001	0,9995
		n=1,219237	0,012	
	60°C	k=0,000035	<0,001	0,9998
		n=1,262013	0,008	
	70°C	k=0,000033	<0,001	0,9997
		n=1,307749	0,012	
	80°C	k=0,000016	<0,001	0,9997
		n=1,424600	0,017	
	90°C	k=0,000016	<0,001	0,9997
		n=1,467308	0,018	
	100°C	k=0,000047	<0,001	0,9998
		n=1,354875	0,013	

Acerola com sacarose				
Nº do modelo	Temperatura (°C)	Constantes dos modelos	Desvio	r²
1 Lewis	50°C	k=0,000156	<0,001	0,9849
	60°C	k=0,000225	<0,001	0,9882
	70°C	k=0,000367	<0,001	0,9927
	80°C	k=0,000386	<0,001	0,9845
	90°C	k=0,000458	<0,001	0,9811
	100°C	k=0,000582	<0,001	0,9850
2 Brooker	50°C	k=0,000163	<0,001	0,9879
		C=2,041034	0,014	
	60°C	k=0,000236	<0,001	0,9914
		C=1,041967	0,014	
	70°C	k=0,000384	<0,001	0,9955
		C=1,039690	0,011	
	80°C	k=0,000411	<0,001	0,9899
		C=1,050683	0,017	
	90°C	k=0,000492	<0,001	0,9878
		C=1,058468	0,019	
	100°C	k=0,000612	<0,001	0,9894
		C=1,047977	0,022	
3 Henderson	50°C	k=0,000151	<0,001	0,9793
		C=0,961659	0,018	
	60°C	k=0,000218	<0,001	0,9828
		C=0,964679	0,019	
	70°C	k=0,000354	<0,001	0,9901
		C=0,962553	0,016	
	80°C	k=0,000380	<0,001	0,9808
		C=0,974536	0,022	
	90°C	k=0,000455	<0,001	0,9783
		C=0,982864	0,025	
	100°C	k=0,000569	<0,001	0,9818
		C=0,967488	0,027	
4 Overhults	50°C	k=0,000150	<0,001	0,9985
		n=1,324867	0,022	
	60°C	k=0,000220	<0,001	0,9991
		n=1,271897	0,019	
	70°C	k=0,000362	<0,001	0,9972
		n=1,169870	0,035	
	80°C	k=0,000381	<0,001	0,9994
		n=1,345570	0,019	
	90°C	k=0,000453	<0,001	0,9995
		n=1,403356	0,021	
	100°C	k=0,000556	<0,001	0,9994
		n=1,404457	0,030	
5 Page	50°C	k=0,000009	<0,001	0,9985
		n=1,324869	0,022	
	60°C	k=0,000022	<0,001	0,9991
		n=1,271899	0,019	
	70°C	k=0,000094	<0,001	0,9972
		n=1,169866	0,035	
	80°C	k=0,000025	<0,001	0,9994
		n=1,345568	0,019	
	90°C	k=0,000020	<0,001	0,9995
		n=1,403358	0,021	
	100°C	k=0,000027	<0,001	0,9994
		n=1,404462	0,030	

Acerola no ultrassom				
Nº do modelo	Temperatura (°C)	Constantes dos modelos	Desvio	r²
1 Lewis	50°C	k=0,000158	<0,001	0,9875
	60°C	k=0,000193	<0,001	0,9922
	70°C	k=0,000260	<0,001	0,9902
	80°C	k=0,000300	<0,001	0,9724
	90°C	k=0,000342	<0,001	0,9769
	100°C	k=0,000449	<0,001	0,9859
2 Brooker	50°C	k=0,000164	<0,001	0,9899
		C=1,036569	0,013270	
	60°C	k=0,000200	<0,001	0,9942
		C=1,033372	0,010193	
	70°C	k=0,000271	<0,001	0,9931
		C=1,040921	0,012965	
	80°C	k=0,000318	<0,001	0,9784
		C=1,053635	0,023853	
	90°C	k=0,000360	<0,001	0,9816
		C=1,046162	0,022753	
	100°C	k=0,000430	<0,001	0,9887
		C=0,965550	0,018356	
3 Henderson	50°C	k=0,000152	<0,001	0,9820
		C=0,960649	0,017	
	60°C	k=0,000185	<0,001	0,9881
		C=0,956668	0,014	
	70°C	k=0,000251	<0,001	0,9858
		C=0,963522	0,017	
	80°C	k=0,000294	<0,001	0,9669
		C=0,973420	0,028	
	90°C	k=0,000334	<0,001	0,9715
		C=0,967385	0,027	
	100°C	k=0,000399	<0,001	0,9828
		C=0,894596	0,021	
4 Overhults	50°C	k=0,000153	<0,001	0,9977
		n=1,261312	0,024	
	60°C	k=0,000188	<0,001	0,9985
		n=1,206764	0,020	
	70°C	k=0,000253	<0,001	0,9992
		n=1,256490	0,017	
	80°C	k=0,000292	<0,001	0,9992
		n=1,546820	0,027	
	90°C	k=0,000334	<0,001	0,9985
		n=1,473401	0,038	
	100°C	k=0,000446	<0,001	0,9865
		n=1,061153	0,074	
5 Page	50°C	k=0,000015	<0,001	0,9977
		n=1,261315	0,024	
	60°C	k=0,000032	<0,001	0,9985
		n=1,206765	0,020	
	70°C	k=0,000030	<0,001	0,9992
		n=1,256493	0,017	
	80°C	k=0,000003	<0,001	0,9992
		n=1,546820	0,027	
	90°C	k=0,000008	<0,001	0,9984
		n=1,473403	0,038	
	100°C	k=0,000278	<0,001	0,9865