

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ALINE JORGE**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE PROCESSOS DE SECAGEM  
NA PRODUÇÃO DE TOMATE EM PÓ**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2014**

**ALINE JORGE**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE PROCESSOS DE SECAGEM  
NA PRODUÇÃO DE TOMATE EM PÓ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Mazurek Tebcherani

Co-orientadora: Prof. Dra. Denise Milléo Almeida

PONTA GROSSA

2014

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa  
n.14/141'

J82 Jorge, Aline

Avaliação comparativa entre processos de secagem na produção de tomate em pó. / Aline Jorge. -- Ponta Grossa, 2014.  
68 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Mazurek Tebcherani  
Co-orientadora: Prof. Dra. Denise Milléo Almeida

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

1. Controle de processo. 2. Inovações tecnológicas. 3. Secagem. 4. Tomate. I. Tebcherani, Sergio Mazurek. II. Almeida, Denise Milléo. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 670.42



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Ponta Grossa  
**Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Título da Dissertação Nº 239/2014

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE PROCESSOS DE SECAGEM NA PRODUÇÃO DE**  
**TOMATE EM PÓ**  
por

Aline Jorge

Esta dissertação foi apresentada às 13 horas e 30 minutos do dia 21 de fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, linha de pesquisa Nano-inova, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Evaldo Toniolo Kubaski (UEPG)

Prof. Dr. Maria Helene Giovanetti Canteri  
(UTFPR)

Prof. Dr. Sergio Mazurek Tebcherani  
(UTFPR) - Orientador

Prof. Dr. Aldo Braghini Junior (UTFPR)  
Coordenador do PPGE

**A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE**  
**REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR –CÂMPUS PONTA GROSSA**

Dedicatória:  
Ao Francisco, e à Jozete.

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas, podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao Prof.Sergio Tebcherani, meu orientador e exemplo profissional, pela a orientação, apoio e confiança para o desenvolvimento deste e dos outros trabalhos que foram frutos desta pesquisa.

À Prof.<sup>a</sup> Denise Milléo pela sua coorientação e ajuda em quase toda a parte experimental, e também pela prontidão para participar de outros projetos que surgiram como fruto desta pesquisa.

À Professora Maria Helene Canteri e, em especial à Professora Elenise Sauer pela paciência e atenção ao me auxiliar na execução das análises instrumentais.

Aos colegas Evaldo Kubaski e Thiago Sequinel, pelas críticas, argumentos e outros detalhes que foram essenciais para a finalização de todos os trabalhos que compuseram a minha caminhada ao título de mestre.

Agradeço também a todos os professores funcionarios do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UTFPR, que de uma maneira ou de outra sempre estiveram presentes nestes dois anos de curso. Sem esquecer, dos técnicos laboratoristas dos departamentos Tecnologia em Alimentos e de Engenharia Química.

Aos amigos e familiares pela compreensão nos momentos mais difíceis, e dos momentos que tive que me ausentar para a execução da pesquisa.

Com vocês, queridos, dividi a alegria desta experiência.

*"Sonhos determinam o que você quer.  
Ação determina o que você conquista."  
(Aldo Novak)*

## RESUMO

O objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo comparativo entre três processos de secagem aplicados para desidratação de tomates, dois já usuais na indústria, a estufa com circulação de ar e liofilização, e um inovador na secagem de frutas e hortaliças. Para isso foi desenvolvido e testado um protótipo laboratorial do sistema de secagem por fluxo de ar e foram definidos os parâmetros das condições de secagem para cada um dos sistemas utilizados no estudo. A pesquisa desenvolveu nas etapas: definição dos parâmetros de secagem, obtenção e caracterização do pó de tomate. Foram feitos cálculos para determinação do consumo energético e dos custos de operação para cada um dos sistemas. Caracterizou-se a matéria prima utilizada e os pós de tomate obtidos por meio de cada um dos tratamentos com relação a: umidade, cinzas, proteínas, lipídios, acidez, pH, atividade de água, compostos fenólicos totais, carotenoides em frações de  $\beta$ -caroteno e licopeno, ácido ascórbico e cor. De acordo com os resultados, foi comprovado que o sistema de secagem por fluxo de ar, proposto como inovador, consegue desidratar o tomate com tempo reduzido de processo, resultando em significativa redução de custo e consumo energético, com aumento da produtividade. Avaliando a composição centesimal observou-se que o sistema de secagem por fluxo de ar foi o processo de secagem com menor degradação dos nutrientes no pó de tomate, com destaque em proteínas, menor redução do pH, maior concentração de acidez (em termos de ácido cítrico) e também apresentou o maior aumento da concentração dos carotenoides, tanto de  $\beta$ -caroteno como de licopeno. Já, a liofilização manteve as características da composição do produto final, entretanto com desvantagem do custo do processo, superior aos demais, sem boa característica de cor e sem aumento na concentração de carotenoides. A secagem em estufa aconteceu em tempo pouco maior do que o sistema de secagem por fluxo de ar e apresentou maior degradação no produto final obtido.

**Palavras-chave:** Gestão de processos. Inovação industrial. Secagem. Tomate. Alterações decorrentes do processamento.



## ABSTRACT

The general objective of this research was to achieve a comparative study among three drying processes applied to tomato dehydration, being two already usual in industrial processes and one is an innovated on fruit and vegetables drying. For that was developed and tested a laboratory prototype of the hot air drying system and were defined the parameters and drying conditions for each drying system used for this study. The research developed in stages of: definition of the drying parameters, obtention of tomato powder and characterization of the tomato powder. Calculations performed to determine the energy consumption and operation costs for each system. The raw material used was characterized and the tomato powders obtained by each drying treatment performed. The determinations realized for the raw material and product obtained were moisture, ash, protein, fat, acidity, pH, water activity, total phenolic compounds, carotenes in fractions of  $\beta$ -carotene and lycopene, ascorbic acid and colour. According to the results was proven that the hot air drying, proposed as an innovation, is able to dehydrate the tomatoes on the same way as the other with a reduced of time process, which results in a significant reducing of costs and energy consumption, leading to productivity increase. Evaluating the centesimal composition was observed that the hot air drying system promoted minor degradation of the nutrients in tomato powder, highlighting the minor degradation of proteins, minor reducing of pH, major concentration of acidity (in terms of citric acid), also presented a major increase on the concentration of the carotenes, both for  $\beta$ -carotene and lycopene. The lyophilization maintained the characteristics of composition in the final product, although, showed the disadvantage of a high cost of the process, being largely higher than the others, did not present a good colour and did not reveal the increase on the concentration of the carotenes. The oven drying promoted the dehydration in a slightly longer time than the hot air flow; however, was the method that showed the major degradation on the final product obtained from all drying methods.

**Keywords:** Process management. Industrial Innovation. Drying. Tomato. Changes resulting from the processing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curvas de secagem do tomate em metades a 60 °C e 70 °C e em quartos a 60 °C e 70 °C .....	22
Figura 2- Sistema de secagem com fluxo de ar aquecido.....	31
Figura 3 - Fluxograma da metodologia aplicada ao desenvolvimento da pesquisa. ....	37
Figura 4 - Tomate in natura ( <i>Lycopersicon esculentum Mill</i> ) .....	48
Figura 5 - Pó de tomate obtido pelo processo em estufa (a), liofilização (b) e fluxo de ar (c) não branqueados.....	54
Figura 6 - Pó de tomate obtido pelo processo em estufa, liofilização e fluxo de ar branqueados. ....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre tecnologias de secagem em escalas pequena e grande .....	22
Tabela 2 - Quantidades de solução padrão utilizadas para a determinação da curva de calibração de ácido ascórbico. ....	43
Tabela 3 - Caracterização do consumo energético dos métodos de secagem .....	44
Tabela 4 - Composição do tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill) in natura.....	48
Tabela 5 - Parâmetros de análise de cor do pó de tomate in natura.....	49
Tabela 6 - Resultados das análises de composição do pó de tomate não branqueado .....	50
Tabela 7 - Parâmetros de análise de cor do pó de tomate não branqueado.....	54
Tabela 8 - Resultados das análises de composição do pó de tomate branqueado .....	55
Tabela 9 - Parâmetros de análise de cor do pó de tomate com branqueamento .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

Aw	Atividade de água
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organização de Alimentos e Agricultura)
L*	Luminosidade
a*	Intensidade de cor entre verde e vermelho
b*	Intensidade de cor entre amarelo e azul
°C	Grau Celsius
kW	Kilowatts
µg	Microgramas
g	Gramas
h	Horas
kg	Quilogramas
W	Watts

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
3.1 GESTÃO DA INOVAÇÃO EM PROCESSOS.....	17
3.2 TECNOLOGIA EM PROCESSOS COM ÊNFASE NA SECAGEM DE ALIMENTOS.....	19
3.3 CONSUMO ENERGÉTICO DOS SISTEMAS DE SECAGEM DE ALIMENTOS.....	23
3.4 ALTERAÇÕES COMUNS DECORRENTES DO PROCESSAMENTO.....	24
3.5 PROCESSOS DE SECAGEM EXPLORADOS NESSE TRABALHO.....	27
3.5.1 Secagem em estufa com circulação de ar.....	27
3.5.2 Secagem por liofilização.....	27
3.5.3 Secagem por fluxo de ar aquecido.....	30
3.6 TOMATE.....	32
3.7 DESIDRATAÇÃO DE TOMATE.....	35
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
4.1 SELEÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA PRIMA.....	38
4.2 PROCESSAMENTO DA MATÉRIA PRIMA.....	38
4.3 PROCESSAMENTOS DE SECAGEM.....	38
4.3.1 Processo de Branqueamento.....	38
4.3.2 Secagem em estufa com circulação de ar.....	39
4.3.3 Secagem por liofilização.....	39
4.3.4 Secagem por fluxo de ar aquecido.....	39
4.3.5 Obtenção do pó a partir do tomate desidratado.....	39
4.4 CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO.....	39
4.5 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS.....	40
4.5.1 Determinação da composição centesimal.....	40
4.5.2 Atividade de água.....	41
4.5.3 Determinação de cor.....	41
4.5.4 Compostos fenólicos totais.....	41
4.5.5 Carotenóides em frações de $\beta$ -Caroteno e Licopeno.....	41

4.5.6	Determinação de ácido ascórbico.....	42
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
5.1	CONSUMO ENERGÉTICO DOS MÉTODOS DE SECAGEM.....	44
5.1.1	Consumo energético da secagem em estufa com circulação de ar.....	44
5.1.2	Consumo energético da secagem por liofilização.....	45
5.1.3	Consumo energético da secagem pelo sistema de fluxo de ar aquecido .....	46
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE IN NATURA E EM PÓ.....	47
5.2.1	Composição do tomate <i>in natura</i> .....	47
5.2.2	Composição do tomate desidratado sem branqueamento.....	49
5.2.3	Composição do tomate desidratado com branqueamento.....	55
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A redução na massa e no volume do alimento processado diminui os custos de transporte e armazenamento. Para alguns tipos de alimento, a desidratação oferece um produto conveniente para o consumidor ou ingredientes mais facilmente manuseáveis para os processadores de alimentos (FELLOWS, 2006). Além disso, a remoção da água presente no alimento promove a concentração de nutrientes e prolonga a vida de prateleira do produto pela consequente redução da atividade de água.

Os processos de desidratação têm também o objetivo de agregar valor ao alimento, mas podem ser demorados e com elevado custo para indústria como resultado de seu alto consumo energético. Para Foust e outros (1982), deve-se levar em conta, também, o fator econômico habitual dos custos de processamento que diz respeito às condições mais desejáveis do produto, do ponto de vista do mercado e vendas.

O consumo de tomate seco vem crescendo de maneira considerável. Atualmente, esse produto está presente no cardápio de vários restaurantes e em muitas lojas de comidas finas. Geralmente, o tomate seco é produzido por pequenos e microempresários, que utilizam métodos de produção artesanais, mantidos em segredo para evitar a concorrência (TONON et al., 2006).

O processo antigo de secagem de tomate era realizado em estufa aquecida com o calor do sol, mas, na indústria, as estufas de secagem trabalham em torno de 60 °C durante 16 a 18 horas. De acordo com Queiroz e outros (2011), a secagem ao sol é substituída pelos processos de secagem artificial em estufa, por apresentar maior controle de temperatura, realizada como operação ininterrupta. A secagem solar apresenta vantagens quando usada para agregar valor em produtos que necessitam de baixo custo de produção (BELÉN-CAMACHO et al., 2007); entretanto, tem como desvantagem a sua baixa eficiência por ser realizada apenas durante o dia, ou com contratempos relacionados ao clima da região (QUEIROZ et al., 2011). Além disso, outros inconvenientes do processamento de secagem por estufa com aquecimento solar estão associados à deterioração do produto, em função do possível tempo prolongado favorecendo o desenvolvimento de microrganismos.

Outros métodos auxiliares estão sendo estudados e podem ser encontrados na literatura. Como exemplo, a combinação de dois ou mais métodos de secagem, como por ar aquecido combinado ao método por infravermelho, avaliada por Montevali e outros (2011) e os métodos estudados por Liu, Zhang e Mujumdar (2011) que avaliaram a secagem em microondas combinada com liofilização ou secagem em estufa em combinação com o sistema de leiteo fluidizado. Métodos utilizados como pré-tratamento também são pesquisados, tais como a desidratação osmótica seguida de secagem em estufa, com o objetivo de reduzir o tempo do processo, estudado por Sousa e outros (2003) e Corrêa e outros (2008).

Na perspectiva de se reduzir o tempo e o consumo energético para secagem de alimentos, foi desenvolvido um sistema de secagem de bagaço de maçã, com patente depositada (TEBCHERANI et al., 2010). Esse equipamento não foi idealizado para secagem em grande escala, nem utilizado para outros produtos. Sendo assim, questiona-se se esse novo sistema de secagem pode ser aplicado a outros produtos de origem vegetal, mantendo as mesmas vantagens de menor custo, tempo de secagem e qualidade do produto final.

Tanto a combinação de diferentes métodos de secagem, quanto os pré-tratamentos são utilizados em produtos, principalmente, com elevados conteúdos de umidade, objetivando reduzir o tempo de processamento e consumo energético, além de reduzir a perda de qualidade no produto desidratado.

É possível reduzir o consumo energético durante o processo de desidratação, resultando em maior lucratividade para a indústria processadora de alimentos, mantendo as características de qualidade?

O presente trabalho refere-se a uma pesquisa quantitativa explicativa, acompanhado de um estudo bibliográfico e processamento experimental, com o objetivo de avaliar a viabilidade de algumas metodologias no processo de secagem de tomate com foco à aplicação industrial.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Desde as primeiras tentativas de secagem de alimentos, têm-se consumido bastante tempo durante a etapa de processamento. As novas tecnologias no processo de secagem ou desidratação de alimentos, sofisticadas e complexas,



apresentam tendência de consumo energético mais elevado, elevando o custo final do produto.

Neste contexto, para atender os desejos e as necessidades do consumidor, percebe-se o aumento de custo de produção devido à complexidade de parâmetros, para o controle de temperatura e o tempo de processo, necessários para aprimorar a qualidade do produto.

Normalmente, os sistemas de secagem provocam alterações nas características do produto. As modificações estão relacionadas à elevação da temperatura que pode favorecer ou acelerar as reações químicas do produto desidratado. Desta maneira, há necessidade de se controlar os parâmetros do processo para que provoquem o mínimo possível de reações indesejáveis no produto. O sistema de secagem por liofilização, que promove a remoção do conteúdo de umidade a frio, não provoca grandes alterações químicas no produto, porém, é um sistema de elevado consumo energético.

No caso do tomate, além de ser considerado um produto comum na alimentação humana, a sua forma desidratada se trata de um produto refinado, que compõe pratos e cardápios mais requintados.

Sendo assim, o estudo a respeito das modificações no processo com propósito de redução no tempo mantendo as características físicas, químicas e nutricionais do produto aponta para uma redução no custo total do processo e aumento do volume de produção.

Apesar dos esforços para se atingir bons resultados de produção, acredita-se que os processos de secagem e desidratação de alimentos necessitam de atalhos tecnológicos, que facilitem o acesso das inovações, para popularização e diversificação de produção industrial.

Desta forma, este trabalho explora um tema relevante no cenário mundial, aliando a investigação de metodologias inovadoras à produção científica, com colaboração na área de produção e industrialização de alimentos.

Com o desenvolvimento deste trabalho espera-se apoiar as indústrias e os produtores rurais visando redução no consumo energético, resultando em maior lucratividade nos processos de desidratação de frutas e hortaliças.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar estudo comparativo entre três processos de secagem aplicados para desidratação de tomates, dois usuais na indústria e um inovador na secagem de frutas e hortaliças.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desidratar tomates através da secagem em estufa com circulação de ar, por liofilização e pelo sistema de secagem por fluxo de ar aquecido, que é sistema inovador proposto;
- Produzir pó de tomate a partir do produto desidratado por meio de cada um dos processos;
- Avaliar a qualidade do produto final através de determinações analíticas laboratoriais;
- Comparar as vantagens e desvantagens econômicas e tecnológicas entre os processos;
- Calcular os custos de operação de cada um dos sistemas;
- Avaliar o efeito do branqueamento utilizado antes da secagem dos tomates;
- Ressaltar as vantagens do método inovador em relação aos métodos tradicionais para ser utilizado na desidratação industrial de tomates.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 GESTÃO DA INOVAÇÃO EM PROCESSOS

De acordo com a definição estabelecida pelo Manual de Oslo, a inovação é a implementação de um produto novo ou melhorado, um novo processo, um novo método de Marketing, um novo método organizacional nas práticas de negócios (OECD, 2005).

A partir do conceito de inovação, pode-se assumir que novos produtos e processos trazem para a indústria vantagens que envolvem redução de custos, aumento da eficiência e melhorias na qualidade de produtos e processos (FINEP, 2005). Por meio do Manual de Oslo, o conceito de inovação é complementado ainda por: métodos que podem ter por objetivo aumentar a produção e eficiência na entrega de produtos já existentes (OECD, 2005).

A utilização da inovação para aumentar a produtividade na indústria, pode gerar lucratividade, principalmente quando se trata de processos de secagem, que tem como característica elevado consumo energético e resulta em baixo rendimento no volume de produção.

A agroindústria, ou a indústria alimentícia, à medida que se fortalece, cria oportunidades de novos produtos e serviços em decorrência da ampliação da capacidade produtiva do pequeno e do grande produtor ou industrializador de alimentos (CARVALHO; REIS; CAVALCANTI, 2011).

A gestão de um processo é realizada a partir do mapeamento de todas as ações que o compõe, sendo necessário o conhecimento de todas as atividades e características, com o objetivo de medir e quantificar o processo.

Chou e outros (2000) afirmam que qualquer que seja o foco de interesse da indústria, é possível variar as condições de operação resultando em produtos de alta qualidade, como, por exemplo, a redução do consumo energético.

Entre os processos de operação com alto consumo energético está à secagem de produtos alimentícios, definida como a aplicação de calor sob uma condição controlada, para remover a maior parte da água presente no alimento por evaporação. No entanto, existem métodos sem aplicação de calor no produto, como a liofilização (OETTERER et al., 2006), mas requerem elevada taxa de energia para o desenvolvimento do processo.

Os processos de secagem de alimentos geralmente são demorados e limitados a temperaturas próximas de 75 °C, para evitar perdas e alterações nutricionais, conduzindo a mudanças nas características de cor, de sabor e de textura dos produtos. Isso corresponde com o estudado por Anguelova e Warthesen (2000) no qual alguns nutrientes podem ficar mais suscetíveis à degradação por oxidação quando se apresentam em produtos com baixa umidade, tal como o licopeno, que sofre isomerização de sua forma *cis* para a forma *trans* depois de passar por aquecimento.

Nesse sentido, os processos convencionais de secagem em alimentos requerem maior tempo de exposição do produto ao calor e, como consequência há um elevado consumo energético aumentando o custo final para o consumidor.

Alguns métodos alternativos de secagem, como por congelamento, em microondas, por infravermelho, por bomba de vapor, e a desidratação osmótica são praticadas (GAWARE, 2010).

Dentro desse contexto, são necessários estudos sobre a gestão de processo de secagem para redução do tempo de processo e do consumo energético, gerando maior produtividade e lucratividade para a indústria. Fernandes e outros (2011) consideram ainda a preservação do produto por períodos prolongados, evitar o desenvolvimento microbiano, manter as características nutricionais e preservar os ingredientes ativos, como aspectos relevantes para o processo econômico da indústria.

Do ponto de vista dos consumidores, a qualidade dos produtos desidratados, como o tomate seco, por exemplo, são avaliadas considerando como fatores principais os aspectos sensoriais, sendo a sua aparência, envolvendo a cor e formato, o critério mais importante numa análise global do produto no momento de adquiri-lo (RAUPP, 2009).

De acordo com Cernicev (2010), na secagem de tomate, a cor e o sabor são considerados os aspectos de qualidade mais importantes afetando o grau de aceitação dos produtos pelos consumidores.

Em ciências dos alimentos, a qualidade de um produto é definida pelas características que diferenciam unidades individuais deste, sendo significante a determinação do grau de aceitabilidade pelo comprador (FERREIRA et al., 2003, p.07). Para Batalha (2008), a qualidade do produto é uma variável precisa e mensurável oriunda dos atributos do produto, ou seja, o produto deve atender às

características sensoriais esperadas pelo consumidor. Em uma revisão feita por Vadivambal e Jayas (2007) apud Abano e outros (2012), indicou que a qualidade inclui três principais características: valor nutricional, aceitabilidade e segurança. Boa qualidade é julgada como o frescor, aparência esperada do produto, sabor e textura.

O conceito de qualidade do tomate pode se referir aos atributos que o consumidor estima que o produto deva possuir. Esses atributos podem estar relacionados com as características sensoriais, tais como: cor, aroma e sabor, ou também através de uma visão global do produto que pode incluir a embalagem e o preço. Desta forma, são consideradas as características físicas, sensoriais e a composição centesimal do produto, associadas para melhor entendimento das transformações que afetam ou não a qualidade do produto (ELOI et al., 2011).

### 3.2 TECNOLOGIA EM PROCESSOS COM ÊNFASE NA SECAGEM DE ALIMENTOS

A desidratação é definida por Fellows (2006) como “a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação a maioria da água presente em um alimento” ou, no caso da liofilização por sublimação, onde a amostra é congelada a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente e, no vácuo, todo o gelo presente é retirado sem causar grandes alterações no produto. Soares e outros (2001) ressaltam que o método de liofilização conserva o produto impedindo a deterioração e a perda do valor comercial e ainda por refinamento a incorporação de um novo alimento no mercado.

De acordo com Fellows (2006), o objetivo principal da secagem é prolongar a vida de prateleira dos alimentos por meio da redução da atividade de água. Isso inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, mas mesmo assim não atinge a temperatura para provocar sua inativação.

A secagem é um processo que normalmente envolve o uso de temperaturas elevadas, passível de provocar a degradação e a oxidação de alguns nutrientes (TONON, 2006). Esse processo pode causar modificações tanto na qualidade sensorial quanto no valor nutricional do alimento. O projeto e a operação de equipamentos de secagem objetivam minimizar essas alterações por meio da seleção de condições apropriadas de desidratação para cada alimento em particular (FELLOWS, 2006).

Os produtos desidratados têm vida de prateleira quase ilimitada quando são armazenados em embalagens adequadas além de reduzir os custos de transporte, de manipulação e de armazenagem, comparados a outros métodos de conservação (DOYMAZ, 2011). A conservação pela secagem está associada ao fato dos microrganismos, das enzimas e de todo o mecanismo metabólico necessitarem de água para suas atividades (MARTINAZZO et al., 2007).

Para Doymaz (2011), a desidratação dos produtos agrícolas tem grande importância para a preservação de alimentos. Além de prevenir o crescimento e a reprodução de microrganismos ainda preserva a qualidade da planta colhida, através da redução da velocidade das reações químicas e enzimáticas.

Tradicionalmente, frutas e vegetais eram desidratados com o auxílio da luz do sol como fonte de transferência de calor. Contudo, a luz do sol é dependente do clima, afetando a homogeneidade e qualidade do produto final. Além disso, os produtos acabam por ser expostos a microrganismos e outros contaminantes quando utilizados sistemas de secagem mais rústicos (DOYMAZ, 2011). Para evitar esses problemas são desenvolvidos os secadores industriais, que promovem a secagem artificial.

Diferentes produtos, tais como, frutas e vegetais podem ser desidratados. Os aspectos importantes da secagem industrial consistem em prever o comportamento da secagem e aumentar a eficiência do processo, visto que os processos de secagem possuem custo elevado o que normalmente inviabiliza a industrialização (YUCEL et al., 2010).

A taxa de secagem, a estabilidade no armazenamento, as características de reidratação e as mudanças de qualidade dependem do tipo de secador, de parâmetros do processo e também do pré-tratamento (YUCEL et al., 2010). Todos os parâmetros citados devem ser estudados para manter o controle de qualidade do produto e do desempenho de um secador. Uma das dificuldades dos processos de secagem é a temperatura. Quanto maior a temperatura, menor seria o tempo de secagem, porém, há uma perda de qualidade considerável no produto final, devido à degradação de nutrientes e as modificações na cor e textura.

Sendo assim, os processos de pré-desidratação começaram a ser estudados, com o objetivo de remoção de parte da umidade do produto, para que seja submetido ao processo térmico posteriormente, e assim, reduzir o tempo do processo de secagem já que a umidade será menor no início do processo.

A desidratação de frutas e vegetais é um processo complicado que envolve simultaneamente a transferência de calor e de massa devido às condições transientes. Do ponto de vista da engenharia, é importante para revelar melhor entendimento dos parâmetros e controle desse complexo processo (DOYMAZ, 2011).

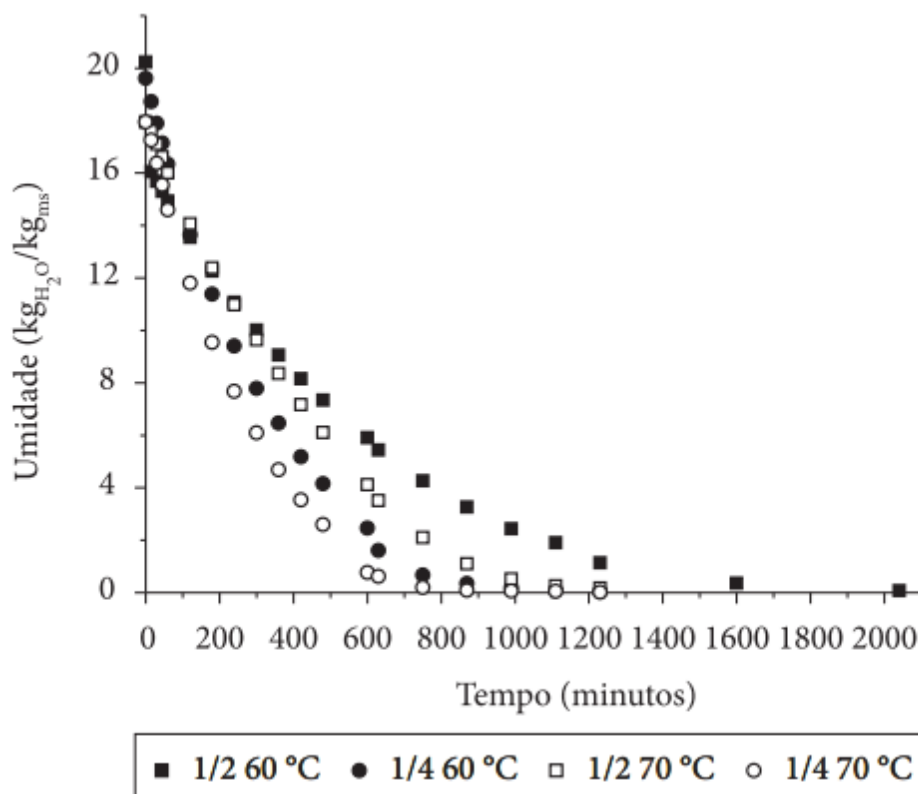
Para Vieira e outros (2012), os níveis de alteração da qualidade do produto durante o processo de secagem de alimentos são fortemente dependentes da temperatura, do tempo e também do conteúdo de umidade inicial presente no produto. No entanto, esses parâmetros não têm significado físico, e conseqüentemente, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno, embora descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais (MARTINAZZO, 2007).

Do ponto de vista energético, a melhor secagem é obtida quando a energia fornecida ao secador combina com a energia para evaporação da água em qualquer instante. Uma das soluções técnicas para aperfeiçoar a secagem é também chamada de secagem intermitente, que é baseada no fornecimento da energia térmica que varia periodicamente com o tempo, projeto do secador ou pela operação (KOWALSKI; PAWLOWSKI, 2011).

Na desidrataação existem dois estágios de perda de umidade, inicia-se com a evaporação e segue-se com a extração da água (JAVANMARD et al., 2012). A Figura 1 representa a perda de umidade em função do tempo quando foram aplicadas diferentes taxas de remoção de água para secagem do tomate (SANJINEZ-ARGANDOÑA, 2011). Os autores (SANJINEZ-ARGANDOÑA, 2011) consideraram que a taxa de remoção da umidade é mais alta no início do processo, porém, pode haver pequenas variações quando se varia a temperatura ou o tamanho do produto.

Javanmard e outros (2010) acrescentam que a desidrataação é importante para processamento de produtos químicos e de alimentos. Através do procedimento de secagem, altos níveis de energia são consumidos resultando em produtos muito caros para o consumidor.

Figura 1- Curvas de secagem do tomate em metades a 60 °C e 70 °C e em quartos a 60 °C e 70 °C



FONTE: SANJINEZ-ARGANDOÑA et al. (2011)

Fellows (2006) apresenta uma tabela comparativa entre vários processos de secagem para alimentos (Tabela 1).

Tabela 1- Comparação entre tecnologias de secagem em escalas pequena e grande

Tipo de secador	Custo (US\$)	Capacidade (kg de alimento úmido/24h)	Eficiência de combustível	Necessidade de mão de obra
Secador solar	50	10	n/d	Muito baixa
Secador solar de câmara	70	30	n/d	Muito baixa
Secador batelada	3400	240	Pobre	Alta
Secador de câmara (pequeno)	85000	500	Boa	Alta
Secador de esteira	800000	48000	Muito boa	Muito baixa

FONTE: Adaptada de Axtell e Bush, 1991 apud Fellows (2006).

De acordo com a comparação feita por Fellows (2006), as diferenças entre os tipos de secadores podem influenciar muito no seu custo de implantação. Secadores maiores têm elevada capacidade e requerem fornecimento de energia muito maior



devido a potência dos motores. Já os equipamentos menores, são mais baratos e não requerem muita mão de obra, porém tem capacidades mais baixas, levando o produtor a manter o equipamento em funcionamento por períodos prolongados.

A secagem ao sol tem sido usada por muitos anos para a desidratação de fatias de tomate, porém, a qualidade do tomate pode ser seriamente afetada frente aos longos períodos de secagem causando efeitos adversos na qualidade dos produtos, bem como, a contaminação final do produto com sujeira e microrganismos que levam à atividade enzimática e microbiana (RAJKUMAR et al., 2007).

Foi relatado que os métodos tradicionais de secagem são conhecidos por serem associados com a proliferação de microrganismos e deterioração da qualidade em páprica. Tradicionalmente, o seu processamento é feito em sistemas de secagem ao sol (TOPUZ et al., 2010). Assim como a páprica, o tomate quando secado ao sol, apresenta os mesmos problemas devido, especialmente, do seu conteúdo de umidade inicial e a temperatura propícia para o desenvolvimento de microrganismos.

O tomate é processado de diferentes maneiras, desidratado em metades, fatias ou em quartos (chamados alimentos estruturados), ou transformado em purê (conhecidos como alimentos desestruturados). É, portanto, um ingrediente para o preparo de formulações alimentares tais como pizzas, molhos, sopas e sucos (HEREDIA et al., 2010).

### 3.3 CONSUMO ENERGÉTICO DOS SISTEMAS DE SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem é um processo de elevado consumo de energia porque normalmente requer um meio de aquecimento que permita simultaneamente promover transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o material a ser desidratado. De acordo com Putrano e outros (2011), devido a possível escassez de energia e questões de alterações climáticas, as práticas de sustentabilidade precisam ser incorporadas aos processos de secagem. O desenvolvimento de sistemas que apresentem o mesmo desempenho dos sistemas convencionais e com menores taxas de consumo energético deve ser estudado.

Choicharoen e outros (2011) relatam que embora seja bem conhecido o uso de vapor superaquecido na secagem, isto eleva o consumo de energia. No entanto,

não há nenhum estudo experimental sobre o uso de vapor superaquecido como um meio de secagem de um secador de fluxo interferente.

De acordo com o Kowalski e Pawlowski (2011), na maioria dos casos, a abordagem mais eficiente para a intensificação da secagem é fazer a combinação de várias técnicas como, por exemplo, secagem convectiva combinada com microondas e secagem infravermelha e outros.

Em se tratando de energia, calculou-se que, para secagem de cereais consome-se cerca de 60 % do total de energia necessária para produção, distribuído entre a lavoura (16%), o plantio e a proteção (12%), a colheita (6%) e o transporte (6%) (MONTEVALI et al., 2011).

Estão entre as desvantagens da desidratação convectiva nos produtos agrícolas usando fluxo de ar quente o considerável consumo de energia térmica, o período de operação relativamente longo, a perda de qualidade e o encolhimento do produto desidratado (MONTEVALI et al., 2011).

A maior parte da energia de desidratação está relacionada ao processo de sublimação e de dessorção, bem como a energia para suportar o vácuo e a refrigeração. A secagem a vácuo se trata de um processamento a baixas temperaturas e rápida evaporação da água, oferecendo menores tempos de secagem e elevada qualidade do produto desidratado quando comparado com o método sem o vácuo (LIU et al., 2012).

### 3.4 ALTERAÇÕES COMUNS DECORRENTES DO PROCESSAMENTO

Alterações indesejáveis podem ocorrer em produtos desidratados devido à presença de oxigênio na secagem intermediária. Desidratação de alimentos, especialmente frutas e vegetais com propriedades antioxidantes é uma operação de processo difícil, principalmente em razão das alterações indesejáveis na qualidade dos produtos desidratados (RAJKUMAR et al., 2007).

A composição do tomate varia durante o seu período de maturação, conforme se desenvolvem os nutrientes e ocorrem as modificações de cor. Alguns parâmetros de qualidade têm sido empregados para analisar a sua composição, tais como: a acidez; os sólidos solúveis; o teor de açúcar; o teor de licopeno; a aparência; a textura; o sabor; o tamanho e a suculência (MONTEIRO et al., 2008). Este fato

interfere nas características do produto final, depois que ocorrerem as degradações normalmente presentes no processamento.

Para Narain e outros (2010) as alterações podem ser físico-químicas, de cor, e outras mudanças em substâncias químicas sensíveis ao calor, incluindo degradação de pigmentos, perda de nutrientes e de componentes voláteis responsáveis pelo aroma do produto e modificações associadas ao escurecimento enzimático e ao não enzimático.

A secagem é primeiramente usada para aumentar a estabilidade do produto e para reduzir os custos de embalagem, armazenamento e transporte. Porém, existem vários fatores que vem como consequência do processo de secagem.

De acordo com Cernisev (2010), para reduzir o conteúdo de umidade, o aumento de temperatura do produto durante a secagem leva a várias reações químicas irreversíveis tanto estruturais, físicas e modificações mecânicas.

Heredia e outros (2010) afirmam que, enquanto a secagem tradicional expõe o produto a altas temperaturas e o longo tempo de processamento, a combinação de ar quente e microondas tendem a reduzir a degradação dos componentes nutricionais.

No caso da secagem de materiais biológicos a preservação do valor nutricional é desejável (KOWALSK; PAWLOWSKI, 2011).

Mudanças em componentes voláteis durante a desidratação de alimentos foram relatadas em nectarina, café, arroz, abacaxi e tomate (NARAIN et al., 2010). Fatores como pH, a temperatura e o tempo de processamento impactam a sua estabilidade embora o oxigênio dissolvido e a transição de íons metálicos de equipamentos de aço inox possam ter uma ótima influência na estabilidade dos produtos desidratados (CHANFORAN et al., 2012).

Heredia e outros (2010) afirmam que durante a secagem, a cor típica do tomate fresco, muda gradualmente para tons mais amarronzados ou vermelho intenso dependendo dos mecanismos envolvidos. Isto ocorre principalmente como resultado das mudanças sofridas pelo licopeno em função do calor, a oxidação do ácido ascórbico e as reações de escurecimento enzimático e não enzimático (HEREDIA et al., 2010).

O conteúdo de licopeno, ácido ascórbico e polifenóis totais podem ser considerados bons indicadores de qualidade do processo de desidratação. Durante o processamento térmico do tomate, esses componentes podem ser modificados,

além de afetar a cor, qualidade sensorial e nutricional do produto desidratado (SÁNCHEZ et al., 2012).

Considerando que tocoferol e ácido ascórbico são reconhecidos como vitaminas antioxidantes termolábeis, os compostos de licopeno e fenólicos são mais resistentes ao tratamento térmico, sendo os principais antioxidantes em produtos processados (GONZÁLEZ et al., 2012).

Sánchez e outros (2012) relatam que é de primordial importância reduzir as perdas desses componentes durante a desidratação do tomate. Entretanto, muito pouco está descrito na literatura sobre o impacto dos processos tecnológicos sob vários antioxidantes no tomate, assim levam em conta de que diferentes parâmetros implicam no valor nutricional do tomate, tais como licopeno, vitamina C e compostos fenólicos (GEORGÉ et al., 2011).

A vitamina C tem função importante no organismo humano, no entanto, em processamento envolvendo fatiamento e tratamento térmico, o ácido ascórbico, devido ao seu potencial redutor, pode ser rapidamente oxidado em ácido dehidroascórbico antes da degradação final irreversível (CHANFORAN et al., 2012).

Em alguns casos os produtos podem ser desidratados, e como resultado, o conhecimento da taxa de degradação de carotenóides e compostos fenólicos e modificações da cor na secagem e intermediando na umidade dos subprodutos do tomate, ajudaria em razão de planejar o potencial para uso desses subprodutos em alimentos (LAVELLI; TORRESANI, 2011).

Dentre os carotenóides, o licopeno, o pigmento vermelho do tomate, está presente em 10 a 20 vezes quando comparado com  $\beta$ -caroteno, a provitamina A carotenóide. Durante o processamento, eles podem prontamente se isomerizar todos da conformação *cis* para *trans*, embora uma redução no total do conteúdo de carotenóides possa indicar novas vias de degradação, tais como a clivagem oxidativa (CHANFORAN et al., 2012).

A maior parte do conteúdo de licopeno está associada com a fração de água insolúvel. De fato, a pele do tomate tem nível de licopeno 2,5 vezes maior do que na polpa, com quantidades significantes de compostos fenólicos e de ácido ascórbico (LAVELLI; TORRESANI, 2011).

A degradação do licopeno durante o processamento térmico de desidratação tem um efeito muito importante na cor do produto final e também no seu valor nutricional e funcional (SÁNCHEZ et al., 2012).

Para Lavelli e Torresani (2011), além de servir como micronutriente com benefícios importantes para a saúde, o licopeno é um excelente corante natural para alimentos. Os procedimentos de extração do licopeno dos restos do tomate podem ser feitos com aplicação de enzimas e CO<sub>2</sub> supercrítico pode ser realizado.

### 3.5 PROCESSOS DE SECAGEM EXPLORADOS NESSE TRABALHO

#### 3.5.1 Secagem em estufa com circulação de ar

O tipo de secador mais simples é o secador de bandeja, ou estufa de secagem. O secador de bandeja é uma câmara onde o material a ser seco é colocado em bandejas ou tabuleiros. É uma unidade de operação descontínua, usada para operações em pequena escala (FOUST et al., 1982).

Para Foust e outros (1982) o secador pode ter espaço para 10, 20 ou mais bandejas. Essas bandejas podem ter fundo inteiriço, com ar circulando entre o topo de uma e o fundo da que fica em cima, ou podem ter fundo telado, com a circulação do ar controlada de modo que o escoamento se faça através das bandejas e dos sólidos nelas contidos.

A secagem com ar quente implica no tratamento térmico e na degradação térmica de polifenóis. A decomposição de polifenóis depende da matriz do alimento e das condições de processo. Além disso, esse processo pode aumentar ou eliminar a atividade antioxidante dos vegetais dependendo da natureza ou do substrato (MRKIC et al., 2006).

Já foi relatado que quando a temperatura do processo é elevada, a qualidade do alimento é seriamente alterada. Infelizmente, valores que possam ser relacionados entre parâmetros de qualidade ainda não foram encontrados. As relações entre processo e qualidade pode ser a base sólida do aperfeiçoamento dos métodos existentes com novos métodos de desidratação (RATTI, 2001).

#### 3.5.2 Secagem por liofilização

O processo de liofilização é feito através de um processo de secagem do material através da sublimação, congelando-se produto e fazendo com que a parte

congelada, mantida a baixas temperaturas e sob condição de vácuo, converte a água presente no alimento diretamente do estado sólido para o gasoso. Para Fellows (2006), a liofilização é uma operação comercialmente importante e é usada para secar alimentos de alto valor que têm aromas e texturas delicados, pelos quais os consumidores estariam dispostos a pagar por uma qualidade superior. São comumente liofilizados produtos que devem ter sua qualidade nutricional mantida por mais tempo, ou em alguns casos, algumas bactérias e leveduras podem ser liofilizadas para serem comercializadas.

A secagem por congelamento a vácuo é o melhor método para remoção da água em alimentos com qualidade elevada em comparação com outros métodos para desidratação de alimentos (RATTI, 2001). No caso da secagem por congelamento, ou liofilização, o alimento é primeiro congelado e então a água é removida por sublimação. Devido à ausência de água líquida e a baixa temperatura requerida para o processo, a maior parte da deterioração e as reações microbiológicas são cessadas, oferecendo excelente qualidade ao produto final (BORCHANI et al., 2011).

Segundo a afirmação de Vieira e outros (2012), alimentos liofilizados são produtos com elevado valor agregado, visto que, podem reter grande parte de seus nutrientes originais, sem que sofram degradação causada pelo calor, por empregar baixas temperaturas em seu processamento. Sendo assim, a qualidade final do produto, deve ser avaliada nos aspectos nutritivos e sensoriais, de modo que garanta alimentos seguros e nutritivos aos consumidores (VIEIRA et al., 2012).

Frente à ausência de água no estado líquido e as baixas temperaturas requeridas no processo, a maior parte da deterioração e das reações microbiológicas são interrompidas, o que fornece ao produto final uma excelente qualidade (RATTI, 2001).

De acordo com Ratti (2001), a água no estado sólido durante a secagem por congelamento protege a estrutura primária dos produtos com mínima redução de volume. Apesar de muitas vantagens, liofilização sempre foi reconhecida como o processo mais caro para produtos desidratados.

A primeira etapa da liofilização é congelar o alimento em equipamentos de alta eficiência, geralmente em temperaturas de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ou menores. Pequenos pedaços do alimento devem ser congelados rapidamente para produzir pequenos cristais de gelo e evitar danos à estrutura celular do alimento (FELLOWS, 2006).

Quando os cristais se formam de maneira rápida, estes são menores e não promovem o rompimento das células presentes no produto, onde estão contidas água, nutrientes e estruturas que dão forma ao produto. Entretanto, de acordo com o relatado por Viera e outros (2012) o custo deste processo é significativamente maior quando comparado aos produtos desidratados por outras técnicas, necessitando-se, assim, de pesquisas que tenham como objetivo encontrar maneiras para minimizar os custos operacionais, oferecendo, assim, produtos a um preço competitivo.

Segundo Ghajar e Hashembadi (2011), algumas pesquisas já estão sendo desenvolvidas para que se consiga reduzir o tempo de desidratação, de modo que se mantenha a qualidade esperada do produto final e possibilitem a redução de custo do processo.

A liofilização é um método muito difundido para estabilizar produtos sensíveis, tais como materiais biológicos ou farmacêuticos e produtos alimentícios. O processo de secagem a vácuo é uma tecnologia estabelecida e tem a vantagem da preservação de alimentos de alto valor (GHAJAR; HASHEMABADI, 2011).

Georgé e outros (2011) acrescentam que a liofilização normalmente é usada em laboratório para desidratar materiais biológicos frescos, para estocagem, devido às reações enzimáticas que podem ocorrer no estado desidratado. Esta tecnologia foi inicialmente desenvolvida para evitar as perdas de compostos responsáveis pelos aromas dos alimentos, os quais são muito susceptíveis aos efeitos do calor e podem ser degradados em processos que empregam temperaturas elevadas, como, por exemplo, a secagem convencional (VIEIRA et al., 2012).

De acordo com Rajkumar e outros (2007), a desidratação a vácuo em baixa temperatura pode evitar o problema da oxidação dos componentes oxidativos do produto a ser desidratado, além da sensibilidade das propriedades do vapor. Em geral, o processo de liofilização por si mesmo não afeta a composição do material. Entretanto, existem poucos dados na literatura que confirmam esse fato (GEORGÉ et al., 2011).

O desempenho do processo depende muito da escolha adequada das condições operacionais da secagem e, portanto, nota-se a necessidade de uma detalhada análise de seus efeitos no tempo de processamento e na qualidade do produto obtido através desse processo (VIEIRA et al., 2012).

### 3.5.3 Secagem por fluxo de ar aquecido

A secagem por ar quente, em particular, é um antigo processo usado para preservar alimentos em que o sólido a ser desidratado é exposto continuamente a uma corrente de ar aquecido onde a umidade evapora (RATTI, 2001).

O sistema de secagem proposto que se aplica ao sistema de secagem de bagaço de maçã tem como princípio promover a remoção da umidade presente no alimento através de uma corrente de ar quente. De acordo com o descrito pelos inventores, a invenção compreende um equipamento para secagem em circulação forçada de ar aquecido, através do arraste de vapor esterilizado em temperatura controlada, proporcionando uma redução significativa no tempo e no custo de secagem, quando comparada ao método convencional de secagem em estufa (TEBCHERANI et al., 2010).

Os fenômenos subjacentes a esse processo envolvem simultaneamente transferência de massa e a energia higroscópica, acarretando o encolhimento ao produto. Secagem com ar oferece produtos desidratados que podem ter a vida de prateleira estendida por até um ano, mas infelizmente, a qualidade de um produto que sofreu secagem convencional é normalmente reduzida a partir do produto inicial (RATTI, 2001).

No processo de secagem por fluxo de ar aquecido, o sistema é fechado e a ventilação forçada suga o ar através de um purificador de ar, que consiste num sistema de filtro e fica acoplado no item de ventilação. O ar passa por uma tubulação de conexão, através da ventilação de ar forçado, até uma câmara de aquecimento (TEBCHERANI et al., 2010).

A câmara é capaz de aquecer o ar até a temperatura desejada e pode ser controlada por um sistema de termopar inserido dentro da câmara. Outro termopar é inserido próximo à peneira onde estão dispostas as amostras. O aquecimento o ar promove a esterilização do mesmo que, quando passa através do produto, não causa a contaminação do mesmo (TEBCHERANI et al., 2010).

A secagem é um processo que normalmente envolve o uso de temperaturas elevadas, que podem provocar a degradação e a oxidação de alguns nutrientes (TONON, 2006). Esse processo pode causar degradação tanto na qualidade sensorial quanto no valor nutricional do alimento.



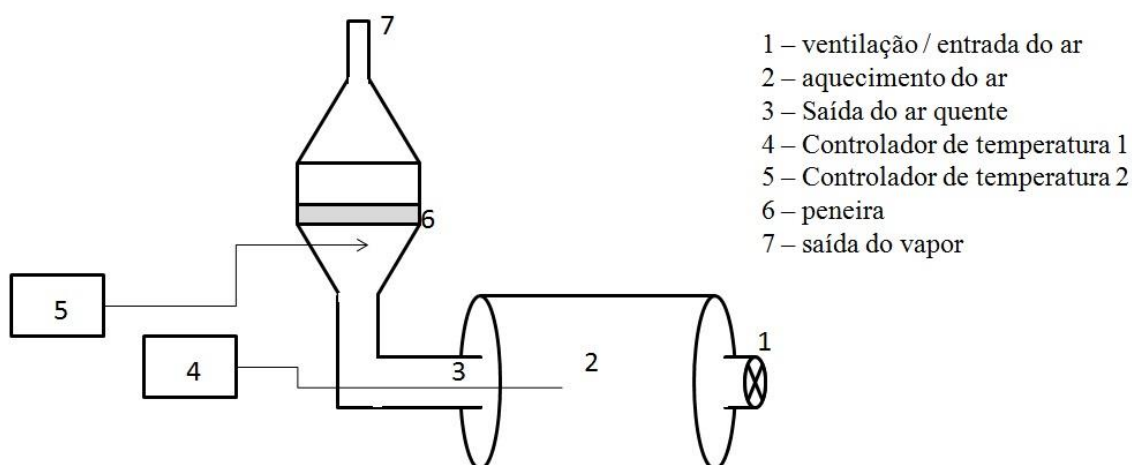
De acordo com Tebcherani e outros (2010) a melhor operação unitária para desidratação consiste em realizar a secagem utilizando ar quente. O tempo de secagem varia conforme a quantidade de vapor de água presente no ar, a temperatura do ar, a quantidade de água no alimento, a composição, o tamanho dos cortes e a quantidade de alimento colocada no secador.

A temperatura utilizada em sistemas de secagem para alimentos, normalmente não ultrapassam a temperatura de 75 °C, pois levam a alterações no produto, causando a degradação de nutrientes e na maioria dos casos, essas alterações não são desejáveis para o produto.

O sistema de secagem proposto é baseado na invenção e compreende de um equipamento para secagem através do arraste de vapor esterilizado em temperatura controlada proporcionando uma redução significativa no tempo e no custo de secagem quando comparado com o método convencional em estufa. A circulação forçada de ar aquecido através do produto promove o arraste da umidade presente no produto de maneira mais rápida e eficiente, resultando em redução do tempo nos processos de secagem de frutas e hortaliças. Esse sistema é hermeticamente fechado, e o ar aquecido é distribuído através da peneira, atravessando o produto a ser desidratado, de maneira homogênea (TEBCHERANI et al., 2010).

Um desenho esquemático do equipamento de secagem por fluxo de ar aquecido está representado na Figura 2.

Figura 2- Sistema de secagem com fluxo de ar aquecido



Na Figura 2, (1) indica a entrada do ar que é aquecido em um forno. O sistema possui 2 controladores de temperatura, o controlador 1 (4) que controla o aquecimento e mantém a temperatura pelo tempo programado necessário, o aquecimento cessa quanto o tempo programado no controlador termina. O controlador 2 (5) é um termostato inserido próximo a peneira onde são dispostas as amostras para fazer o controle de temperatura na amostra, já que esta temperatura não deve exceder 70 °C.

O equipamento teve como finalidade, inicialmente, realizar a secagem do bagaço e resíduos provenientes da indústria da maçã (TEBCHERANI et. al., 2010), porém o estudo realizado neste trabalho avalia as vantagens da utilização desse processo para a secagem de tomate.

### 3.6 TOMATE

O tomate (*Lycopersicon esculentum*) é um dos vegetais mais consumidos no mundo, tanto como fruto inteiro ou como produto processado. Na Europa e Estados Unidos, tomates estão atrás somente das batatas em importância econômica e consumo e são usados na indústria alimentícia e como produto *in natura* ou na produção de vários produtos (GONZÁLEZ et al., 2012).

Segundo Raupp e outros (2009), o tomateiro é originário das regiões do Peru, Equador e Bolívia, tendo registros de que foi cultivado no México e depois levado para a Europa. Em 1554, já havia sido introduzido na Itália um cultivar com frutos amarelados, que recebeu a denominação pomodoro. No século XVIII, o tomate já era largamente consumido em vários países europeus (RAUPP et al., 2009, p. 416)

De acordo com Sanjinez-Ardandoña (2011) a maior forma de consumo de tomates é na forma *in natura*, usado em saladas e industrializados, sendo esse último como extrato de polpa concentrado, polpa e pedaços de tomate com adição de especiarias. Contudo, com as mudanças que ocorrem nos hábitos alimentares dos consumidores, o tomate seco tem aumentado sua popularidade e consumo (SANJINEZ- ARGANDOÑA, 2011).

O tomate é um fruto com vida de prateleira limitada e com curto período de produção natural. Seu processamento responde à necessidade de se consumir durante todo o ano esse alimento saudável (CHANFORAN et al., 2012).

Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2009), atualmente o uso do tomate como alimento é universal e sua produção é estimada em 152,7 milhões de toneladas mundialmente, tendo cerca de 24,5 milhões destinados ao processamento e, segundo a afirmação de Raupp et. al (2009) faz com que gere milhares de empregos diretos e indiretos nos principais países produtores, tais como, Índia, Itália, Egito e Turquia. O Brasil tem produção correspondente a 4,3 milhões de toneladas anualmente e possui consumo médio *per capita* de 20,2 kg por ano em sua forma *in natura* ou processada (FAO, 2009).

Dentre as hortaliças produzidas no Brasil, o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) é apontado como sendo a principal, tanto no aspecto econômico quanto no social. É estimada a ocupação de uma área de plantio superior a 58 mil hectares com produção anual em torno de 3,5 milhões de toneladas (ELOI et al., 2011).

O tomate é uma das culturas nacionais de maior importância econômica, pois é a hortaliça mais industrializada na forma de vários subprodutos, como extrato, polpa, pasta e, mais recentemente, o tomate seco, cujo mercado vem crescendo consideravelmente (SANJINEZ- ARGANDOÑA, 2011).

O tomate para processamento é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil, com importância significativa no agronegócio brasileiro. Concentrada basicamente na região Centro-Oeste, a produção de tomate industrial gera emprego, renda e divisas para o País (MORETTI; MATTOS, 2009).

Para Sánchez e outros (2012), a demanda de produtos de tomate processado tem aumentado notavelmente tanto no varejo como no mercado de ingredientes alimentares.

A concentração de nutrientes do tomate varia consideravelmente de acordo com a variedade, condições de solo e a adição de fertilizantes. Os tomates contêm baixa caloria e gordura, possuem basicamente água, açúcar (glicose e frutose), ácidos (ácido acético, ácido lático e ácido málico), vitamina C e pró-vitamina A ( $\beta$ -caroteno) e, também, traços de potássio, fósforo e ferro (MONTEIRO et al., 2008).

O interesse pela inclusão de tomate na dieta é devido às propriedades nutricionais do tomate, evidenciadas por pesquisas que têm destacado os benefícios para a saúde humana ao ingeri-lo na dieta. (MONTEIRO et al., 2008).

Recentemente a atenção tem sido dada aos compostos antioxidantes dos produtos do tomate devido à importância na prevenção de câncer (HOSSAIN; GOTTCCHALK, 2009).

O tomate e seus derivados são uma importante fonte de licopeno e conforme afirmam de Eyiler e Oztan (2010) nota-se que o consumo elevado desse fruto reduz os riscos de doenças cardiovasculares, próstata e câncer do sistema digestivo. A prevenção das doenças relacionadas se deve à atividade antioxidante dos tomates, que segundo Rodriguez-Amaya (2008), essa atividade está correlacionada às concentrações de substâncias bioativas no alimento.

No tomate é encontrado o pigmento licopeno, que pertence ao subgrupo dos carotenoides não oxigenados, sendo caracterizado por uma estrutura acíclica. Devido a sua estrutura química, o licopeno representa um dos melhores supressores biológicos de radicais livres, especialmente aqueles derivados do oxigênio (MONTEIRO et al., 2008).

González e outros (2012) afirmam que o licopeno tem forte atividade antioxidante, modulação hormonal, sistema imunológico e outras vias metabólicas, e para Sánchez e outros (2012) esse componente corresponde aproximadamente 83% do total dos pigmentos presentes no tomate.

Outro componente encontrado em quantidade significativa no tomate é a vitamina C, que é conhecida como a vitamina mais importante presente nas frutas e vegetais para a saúde humana.

De acordo com Igual e outros (2012), é um eficiente combatador dos radicais livres, desempenhando o papel de maior antioxidante não enzimático no corpo. A vitamina C pode agir independentemente, com atividades específicas como um agente anticancerígeno e cardioprotetor (IGUAL et al., 2012), protege contra câncer de próstata, câncer de mama, arteriosclerose, reduz a oxidação de lipoproteína de alta densidade e ajuda a reduzir os níveis de colesterol no sangue (SANCHÉZ et al., 2012).

E de acordo com o investigado por Giovannetti e outros (2012) o tomate é um produto que fornece quantidade significativa de entrada desses componentes nutraceuticos, devido ao seu elevado consumo.

No tomate fresco, cerca de 90% do licopeno encontrado é na forma de isomeria *trans*. Durante o processamento industrial do tomate, a oxidação e/ou isomerização *trans-cis* do licopeno toma lugar. O aumento a biodisponibilidade do

licopeno é uma consequência do processamento térmico é relatada às propriedades bioquímicas dos isômeros *cis* (HEREDIA et al., 2010).

O aumento da biodisponibilidade significa que a absorção do nutriente é maior após o processamento térmico e os efeitos benéficos ocorrem devido ao consumo em maior quantidade do tomate processado que apenas do produto fresco, como resultado da evaporação da água que provoca a concentração do nutriente.

Os compostos fenólicos exibem uma gama de propriedades fisiológicas, tais como antialérgicos, antiaterogênico, anti-inflamatória, antimicrobiana, antioxidante, antitrombótica, cardioprotetor e efeitos vasodilatadores (GONZÁLEZ et al., 2012).

O tomate não é somente fonte de nutrientes antioxidantes como vitamina A, C e E, mas também contém grande quantidade de componentes antioxidantes não nutritivos incluindo o licopeno e componentes polifenólicos (SANCHÉZ et al., 2012).

Os frutos do tomate são largamente cultivados na Europa e espalhados pelo mundo, tem assumido uma condição de “alimento funcional”, frente às evidências epidemiológicas e redução de alguns tipos de doença cardiovascular e câncer (GIOVANNETTI et al., 2012).

Os benefícios potenciais dos efeitos do licopeno na saúde humana são conhecidos desde a década de 1950, o número de estudos científicos começou a ser significativo quando o consumo de tomate tanto fresco ou processado começou a ser associado à prevenção de doenças, especialmente como doenças cardiovasculares e câncer (HEREDIA et al., 2010).

### 3.7 DESIDRATAÇÃO DE TOMATE

Segundo Murari (2001), o tomate seco é um produto diferenciado tanto no aspecto do processamento como na comercialização. Trata-se de tomates não inteiros desidratados até umidade intermediária, mantendo a textura macia.

No Brasil, por tratar-se de um produto relativamente novo, o processamento e feito por pequenas e microempresas, em geral, próximas às regiões produtoras. Os métodos utilizados são bastante artesanais, pelos quais a preparação do tomate é manual e a secagem realizada ao sol ou em fornos convencionais. O tomate seco no Brasil é consumido em forma de aperitivo, guarnição, pizzas e como ingrediente de receitas e participa de outras formulações alimentícias (SANJINEZ-

ARGANDOÑA, 2011). Entre as hortaliças mundialmente cultivadas para consumo *in natura* e, sobretudo, industrializados, o tomate se sobressai, razão pela qual é considerado de produção e utilização universal (ELOI et al., 2011).

Além da preservação e redução dos custos de transporte e armazenamento, a secagem também pode ser um meio de agregar valor a produtos de valor elevado. Segundo Ratti (2001), entre a grande variedade de alimentos disponíveis, um alimento de alto valor pode ser definido como o que naturalmente apresenta valor acima da média. Podem ser citados como exemplo: (a) commodities perecíveis e sazonais; (b) alimentos infantis; (c) alimentos nutracêuticos; (d) alimentos de sabor destacável e (e) alimentos para fins especiais.

Muitos países em desenvolvimento ainda enfrentam o enorme desafio pós-colheita de tomates devido a processamento e facilidade de armazenamento inadequado. Os tomates produzidos em alta temporada são tanto consumidos frescos, vendidos a preços relativamente baixos ou também autorizados para descarte (ABANO et al., 2012).

O desenvolvimento do aroma do tomate é acompanhado pelo processo de maturação, que envolve muitas mudanças tais como reações metabólicas pela síntese e degradação de muitos componentes, além da complexa transferência de energia associada com várias fases do desenvolvimento do fruto (NARAIN et al., 2010).

O tomate apesar de ser um produto comum na mesa da população do Brasil e do mundo, é um produto de alto valor, visto que apresenta qualidade nutricional elevada e, quando desidratado pode compor produtos de sabor destacável, alimentos para fins especiais (para idosos, militares, etc.) e refeições instantâneas.

Nas últimas décadas, o consumo de tomates tem sido associado com a prevenção de várias doenças principalmente relacionadas a antioxidantes, incluindo carotenos (licopeno e  $\beta$ -caroteno), ácido ascórbico, tocoferol e componentes fenólicos (GONZÁLEZ et al., 2012).

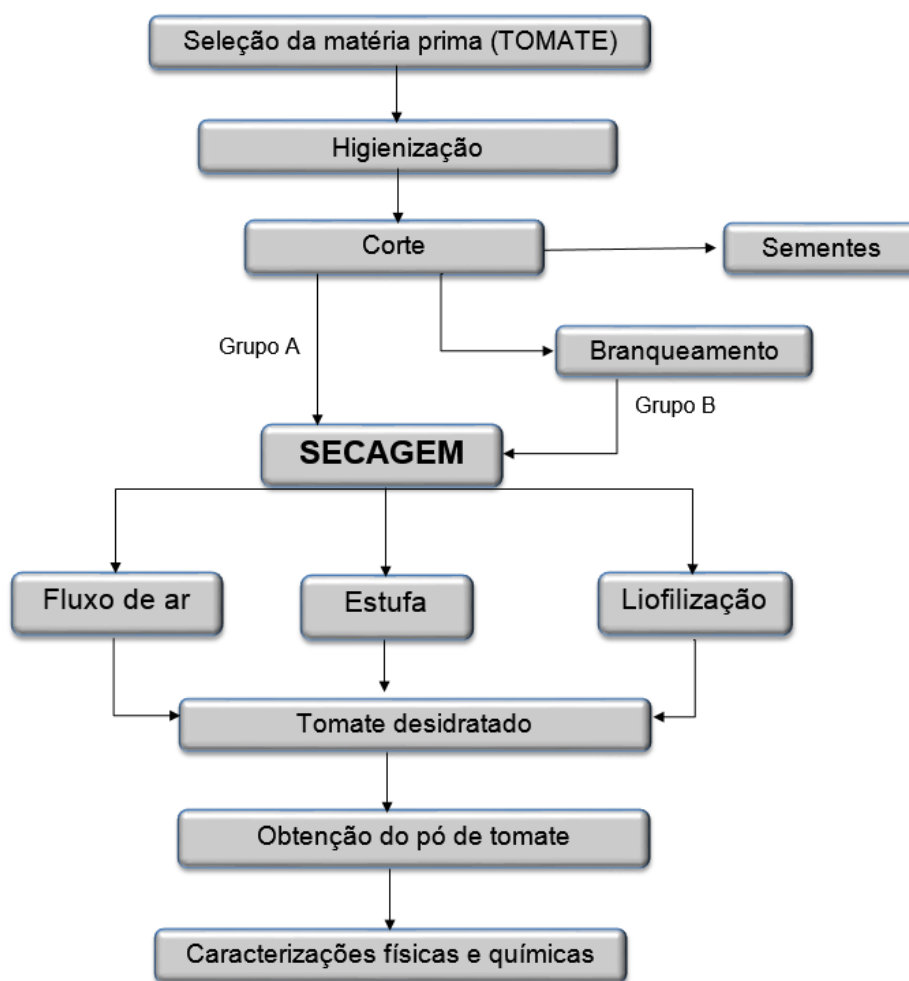
Segundo estudos de Hossain e Gottschalk (2009) tem mostrado que a degradação oxidativa causada nos tomates desidratados também pode ocorrer durante o armazenamento. Os efeitos que podem ser provocados com o efeito da luz e oxigênio presente no ambiente onde o produto está armazenado.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da parte experimental da pesquisa foi realizado nas dependências dos laboratórios de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

A metodologia seguiu as etapas abaixo especificadas conforme Figura 3.

Figura 3 - Diagrama da metodologia aplicada ao desenvolvimento da pesquisa.



FONTE: a autora.

A matéria prima selecionada foi escolhida com critérios baseados na facilidade de aquisição, sendo sempre da mesma variedade e adquiridos do mesmo produtor, de modo que pudessem ser utilizados durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa.

#### 4.1 SELEÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA PRIMA

Foram utilizados tomates cv longa vida (*Lycopersicon esculentum* Mill) adquiridos em várias épocas do ano, de um único produtor do Município de Ponta Grossa, na região Centro Oriental do Estado do Paraná, Brasil. A aquisição foi feita em lotes de oito quilogramas ( $\pm 2$  kg), para cada tipo de secagem.

A seleção da matéria prima foi feita através da padronização de cor e do tamanho, característicos do fruto maduro, e sólidos solúveis totais ( $^{\circ}$ Brix).

#### 4.2 PROCESSAMENTO DA MATÉRIA PRIMA

Os processos para obtenção das amostras e as análises para avaliação da qualidade do produto foram realizados nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

A higienização dos frutos foi feita em solução de hipoclorito de sódio na concentração de  $3 \text{ ml L}^{-1}$  de água gelada ( $4 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ), durante 20 minutos. Em seguida fez-se o enxague em água corrente. Os frutos foram cortados em quatro partes iguais, retiradas as sementes e pesados.

#### 4.3 PROCESSAMENTOS DE SECAGEM

Foram utilizadas três diferentes metodologias para produção de tomate em pó: estufa convencional, liofilização e fluxo de ar aquecido em escala de bancada, um método inovador.

##### 4.3.1 Processo de Branqueamento

Após a higienização e corte, os frutos foram separados em dois grupos distintos, Grupo A e Grupo B.

O Grupo A, foi não sofreu branqueamento.

O Grupo B, passou por tratamento de branqueamento, sendo exposto ao vapor por 5 minutos.



#### 4.3.2 Secagem em estufa com circulação de ar

Os tomates quarteados foram dispostos em grades, com a pele (exocarpo) em contato com a superfície em estufa convencional com circulação mecânica de ar (Fanem, 320-SE), na temperatura de 70 °C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), durante 24 horas.

#### 4.3.3 Secagem por liofilização

Os quartos de tomate foram colocados em copos de polietileno, cobertos com papel alumínio e mantidos em ultrafreezer (Liotop UFR30), em -50 °C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), durante 24 horas. As amostras congeladas foram acondicionadas em bandejas dispostas na torre do Liofilizador (Liotop, L101) durante 72 horas, acoplado a bomba de vácuo Liotop® até pressão final de 35  $\mu\text{mHg}$ .

#### 4.3.4 Secagem por fluxo de ar aquecido

A secagem por fluxo de ar aquecido foi realizada segundo processo desenvolvido por Tebcherani e outros (2010). Os tomates foram expostos em peneira dentro da câmara do equipamento, onde permaneceram com fluxo de ar aquecido a 70 °C, durante 18 horas.

#### 4.3.5 Obtenção do pó a partir do tomate desidratado

Os tomates desidratados obtidos pelos processos acima descritos foram armazenados em sacos plásticos de polietileno, e em ausência de luz, a temperatura ambiente, por períodos de 48 horas para a estabilização da umidade em seu interior. Em seguida, os tomates desidratados foram triturados em liquidificador Walita® e novamente armazenados em sacos de polietileno e em ausência de luz.

### 4.4 CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO

O balanço energético dos métodos de secagem foi determinado por meio de cálculos matemáticos. O consumo energético, desconsiderando-se a energia dissipada é calculado a partir da Equação 1:

$$E = \Sigma P . t \quad (\text{Eq.1})$$

Onde, E é igual ao consumo energético requerido; P é a potência do equipamento (em kW) ou dos equipamentos que compõe o sistema; e t é o tempo (em horas) de funcionamento do equipamento.

Os resultados foram determinados a partir do consumo energético total de cada processo, considerando-se a potência total do equipamento, o tempo de funcionamento e a capacidade máxima de operação (massa de produto/batelada).

Para o cálculo do consumo energético no método da liofilização, considerou-se a somatória dos processos unitários do ultrafreezer, do liofilizador e da bomba de vácuo.

O tempo final para paralisar o processo de secagem, foi determinado de forma empírica, até que o produto apresentasse textura quebradiça.

O rendimento foi calculado pela capacidade máxima de fruto úmido acondicionada no equipamento e a quantidade de massa seca produzida ao final do processo, conforme Equação 2.

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{massa de produto seco obtido}}{\text{massa de produto úmido}} \times 100\% (\text{Eq.2})$$

## 4.5 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

### 4.5.1 Determinação da composição centesimal

As caracterizações dos frutos foram feitas a partir de análises de umidade (em estufa a 105 °C, segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), de cinzas (em mufla a 550 °C por 6 horas), de proteínas (método Kjeldhal), de lipídios (por Soxhlet). Determinou-se ainda a acidez total titulável (Adolfo Lutz, 2008), sendo o pH medido com potenciômetro e o teor de sólidos solúveis totais com o refratômetro.

Para a determinação do pH foram pesados 5 gramas do pó de tomate em frasco tipo béquer e adicionados 50 mL de água destilada. A homogeneização foi feita com movimentos circulares até que ocorresse a reidratação homogênea.

#### 4.5.2 Atividade de água

A atividade da água foi determinada em higrômetro AQUA Lab (Aqualab série 3TE) em alíquotas de  $3 \pm 1$  grama de amostra. As medidas foram feitas em triplicata.

#### 4.5.3 Determinação de cor

As coordenadas colorimétricas foram obtidas em Colorímetro Chroma Minolta Meter CR 410, pelo método CIEL\*a\*b\*, recomendado pela *Commision Internationale de L'Eclairage*.

#### 4.5.4 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram quantificados usando o método de Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965). Em tubo de ensaio adicionou-se 8,4 mL de água destilada, 0,1 mL do suco de tomate ou padrão de catequina devidamente diluído, e 0,5 mL do reativo de Folin-Ciocalteu. Após 3 minutos de reação foi colocado 1,0 mL de carbonato de sódio saturado (20%) em cada tubo com agitação. Após 1 hora fez-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro a 720 nm, tendo como branco uma solução contendo os reativos da análise.

#### 4.5.5 Carotenóides em frações de $\beta$ -Caroteno e Licopeno

Para determinação dos carotenóides, em fração de  $\beta$ -caroteno e licopeno foi utilizado o método descrito por Rodriguez-Amaya (2004), no qual foram homogeneizados em almofariz 2,5 g da amostra com 25 ml de acetona (resfriada na geladeira) e, em seguida, com adição de mais 25 ml de acetona, transferiu-se a amostra para um frasco âmbar. O frasco foi armazenado na geladeira por 12 horas e seguindo de filtração a vácuo do extrato, transferido para um funil de separação com adição de 50 mL de hexano e 50 mL de água destilada. Após a separação escoou-se a fase inferior, repetindo-se o processo de lavagem com 50 mL de água destilada

por mais quatro vezes. Em seguida, a realização do método, fez-se a leitura no espectrofotômetro, 450 nm ( $\beta$  caroteno) e em 470 nm (licopeno). Para encontrar a concentração, foi utilizada a Equação 3:

$$X (\mu\text{g}) = A \times Y (\text{ml}) \times 106/A^{1\%}_{1\text{cm}} \times 100 \text{ (Eq. 3)}$$

Sendo A correspondente a absorvância,  $A^{1\%}_{1\text{cm}}$  ao coeficiente de absorvância e vale 2592 para o  $\beta$ -caroteno em hexano na faixa de 450 nm ou 3450 para o licopeno em hexano na faixa de 470 nm e Y é o volume total do extrato.

#### 4.5.6 Determinação de ácido ascórbico

A coluna utilizada para a determinação de ácido ascórbico foi a C18 Luna Kinetex (4,6 x 150 mm x 5 $\mu$  tamanho da partícula), com comprimento de onda de 245 nm, temperatura de 30 °C em um detector UV/Vis. O volume de injeção de amostra foi de 0,2 ml.

A fase móvel colocada num Erlenmeyer de 500 ml foi filtrada em membrana 0,45  $\mu\text{m}$  e sonicada por 10 minutos aproximadamente. O fluxo utilizado foi de 1,0 ml, com 100 % de ácido fosfórico 0,003M.

Foi usada como fase móvel solução de ácido fosfórico (Synth 85%) 0,003M diluída em água ultra pura, também utilizada para o preparo das soluções padrão.

A curva de calibração foi feita com padrão de ácido ascórbico (Sigma), em oito diferentes concentrações, conforme os dados da Tabela 2. Para solução padrão inicial (mais concentrada) de 100 mg.L<sup>-1</sup>, foi pesado 0,005g do padrão diluído em um balão de 50 mL, com concentração final de 100 mg L<sup>-1</sup>. As concentrações mais baixas foram preparadas conforme diluições descritas na Tabela 2:

Tabela 2- Quantidades de solução padrão utilizadas para a determinação da curva de calibração de ácido ascórbico.

Concentração desejada	Volume do padrão 100 mg L <sup>-1</sup>	Volume de ác. Fosfórico 0,003M
0 mg.L <sup>-1</sup>	0 ml	10 ml
1 mg.L <sup>-1</sup>	0,1 ml	9,9 ml
5 mg.L <sup>-1</sup>	0,5 ml	9,5 ml
10 mg.L <sup>-1</sup>	1 ml	9,0 ml
20 mg.L <sup>-1</sup>	2 ml	8,0 ml
50 mg.L <sup>-1</sup>	5 ml	5,0 ml
75 mg.L <sup>-1</sup>	7,5 ml	2,5 ml
100 mg.L <sup>-1</sup>	10 ml	0 ml

Fonte: a autora.

Para o preparo da amostra, foram pesados quatro gramas do pó de tomate em béquer e acrescentado 40 ml da solução de ácido fosfórico 0,003M. A solução foi agitada por 15 minutos com agitador magnético em temperatura ambiente. Em seguida, foi centrifugada por 60 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi retirado e filtrado em papel filtro quantitativo (J Prolab) com poros de 8 µm sob vácuo. Em seguida, foi feita a filtração de cada solução de extrato em filtro seringa 0.45 µm. As amostras foram guardadas em frasco âmbar e mantidas em freezer de congelamento, a -18° C, e em ausência de luz até o momento da análise.

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística foi utilizado o programa SASM-Agri (Sistema para Análise e Separação de Médias em Experimentos Agrícolas de Canteri et al. (2001), a partir da ANOVA e teste de Tukey, com obtenção dos valores médios e o desvio padrão dos resultados em cada uma das amostras.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CONSUMO ENERGÉTICO DOS MÉTODOS DE SECAGEM

A análise do consumo energético dos métodos de secagem utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foi feita a partir dos resultados obtidos nas Equações 1 e 2, aplicando os valores referentes aos parâmetros de cada um dos processos.

O consumo energético foi calculado para cada tipo de processo de secagem, visto que, o processo de branqueamento não consome energia elétrica, e os parâmetros de processo foram os mesmos para ambos os grupos.

Os resultados referentes a cada um dos processos de secagem analisados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3- Caracterização do consumo energético dos métodos de secagem

Estudo energético	Processos de Secagem		
	Estufa convencional	Liofilização	Fluxo de ar aquecido
Consumo energético total (kWh)	62,4	156,414	39,51
Tempo do processo (h)	24	96	18
Capacidade máxima inicial (g)	1500	1000	1500
Rendimento (%)	6,55	7,31	7,6
Consumo energético do processo para 1 Kg de tomate seco (kWh/Kg de pó)	635,11	2139,73	343,56

Fonte: A autora.

A partir dos resultados obtidos de cada um dos métodos, foi realizada a análise individual e comparativa do consumo energético para obtenção do tomate desidratado.

#### 5.1.1 Consumo energético da secagem em estufa com circulação de ar

A secagem em estufa com circulação de ar é o método tradicional de secagem de alimentos utilizado em pequena escala, comum entre pequenos produtores.

Utilizando a capacidade máxima do equipamento, ou seja, ocupando todo o espaço nas bandejas, de modo que os quartos de tomate estivessem distribuídos uniformemente, foi possível desidratar 1,5 quilogramas de tomate por batelada.

Por meio do cálculo de consumo energético para a secagem em estufa com circulação e ar, o consumo foi equivalente a 62,4 kW por batelada (Tabela 3), considerando que o processo leva 24 horas para ser finalizado.

O rendimento médio da secagem do tomate através desse sistema foi de 6,55% (Tabela 3), ou seja, para cada 1500 gramas de tomate úmido são obtidos 98,25 gramas para cada batelada. A partir disso, foi calculado o consumo energético requerido para obtenção de um quilograma de tomate desidratado.

Conforme a Tabela 3, para obtenção de um quilograma de tomate desidratado são consumidos 635,11 kW. No entanto, este consumo pode ser reduzido caso seja dimensionado um maior número de bandejas ou estufa de maior capacidade.

#### 5.1.2 Consumo energético da secagem por liofilização

No cálculo do consumo energético da secagem pelo método de liofilização tiveram de serem consideradas todas as etapas do processo, incluindo o ultrafreezer, bomba de vácuo e o liofilizador, além disso, considerando o tempo de uso respectivo de cada um desses equipamentos. A etapa de congelamento do produto para a liofilização foi de 24 horas, e através de cálculo do consumo energético notou-se o gasto de 19,2 KWh de energia. No período de 72 horas, referente ao processo de formação da água do produto, ou, de liofilização, o consumo foi de 95,04 KWh, a bomba de vácuo permaneceu ligada por 71 horas para esse processo com consumo equivalente a 42,17 KWh. A bomba de vácuo tem uma hora a menos de funcionamento, devido às normas de operação do equipamento. O liofilizador deve ser ligado uma hora do início do processo, para redução de temperatura dentro da câmara do equipamento, que deve ser de -55 °C.

Em um estudo preliminar deste trabalho, foi avaliada a combinação da secagem em estufa com circulação mecânica de ar com a secagem por liofilização. Neste processo foi observado, que durante as primeiras duas horas de secagem na estufa, aproximadamente 50 % da umidade inicial do produto foi removida. Como consequência, foram necessárias somente mais 24 horas para que a umidade do produto fosse reduzida a 15 %.

Entretanto, a liofilização ainda é o processo com maior custo de operação e requer mão de obra especializada, visto que o equipamento exige certos cuidados para evitar danos ao longo do tempo, com custo de aquisição e de manutenção também mais elevados.

### 5.1.3 Consumo energético da secagem pelo sistema de fluxo de ar aquecido

O sistema de secagem proposto nesse estudo é baseado na desidratação por arraste de vapor através do fluxo de ar previamente aquecido que atravessa o produto.

No estudo de Montevali, Minaei e Khoshtagaza (2011) comprovou-se que quando há o aumento do fluxo de ar através do produto, a remoção de água acontece mais rapidamente e o consumo energético é reduzido devido aos menores tempos de processo, além da maior facilidade do arraste do vapor.

No cálculo do consumo energético do sistema de secagem por fluxo de ar aquecido foi considerada a potência do ventilador e do forno que promove o aquecimento do ar, conforme Figura 2. O tempo de secagem do tomate através desse sistema foi de 18 horas, sendo mantidos tanto o ventilador, quanto o forno, ligados durante esse mesmo intervalo de tempo.

O tempo total de secagem por este sistema considerou o tempo necessário para secar um quilograma de tomate utilizando-se duas peneiras que foram dispostas uma sobre a outra, invertidas depois das primeiras 2 horas do processo.

É possível aumentar a capacidade do equipamento, aumentando o diâmetro das peneiras, adicionando mais peneiras, ou até mesmo, modificando o processo para uma secagem através de processo contínuo. Porém, a cada modificação, deve ser dimensionada a vazão e a velocidade do ar para que o processo de secagem não seja prejudicado.

O consumo energético requerido por batelada, por meio do sistema de secagem por fluxo de ar, em relação ao sistema de secagem em estufa com circulação de ar (Tabela 2), foi 37 % menor. Conforme a avaliação feita por Montevali, Manaei e Khoshtagaza (2011), os equipamentos de secagem que promovem a troca térmica por convecção requerem menores cargas de energia, confirmando o resultado obtido neste trabalho.

Analisando o consumo equivalente para a obtenção de um quilograma de pó



de tomate através da secagem por fluxo de ar aquecido e comparado à secagem em estufa com circulação de ar, a redução do custo energético é de 46 % (Tabela 2).

O método de secagem por liofilização foi o sistema que apresentou o maior consumo energético. Comparado aos outros dois métodos estudados, o custo energético para a obtenção de um quilograma de pó de tomate foi, respectivamente, 6,23 e 3,37 vezes maior que a secagem por fluxo de ar aquecido e de estufa com circulação de ar.

Conforme a afirmação de Liu e outros (2012), o processo de liofilização tem seu custo de operação muito mais elevado frente aos outros métodos de secagem devido ao frio e o vácuo, visto que, ambos requerem grandes cargas de energia para manutenção da atmosfera no interior do equipamento durante o processo.

Do ponto de vista de uma suposta produção mensal, do pó de tomate, em pequena escala, através dos três métodos de secagem propostos, o sistema de secagem por liofilização é o sistema que teria a menor produtividade, já que o equipamento permanece por três dias com mesmo lote do produto.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE IN NATURA E EM PÓ

De acordo com as metodologias de secagem realizadas neste trabalho, foi possível quantificar as composições das amostras de pós de tomate, sem o tratamento prévio de branqueamento, a partir do método estufa com circulação de ar, de liofilização, e do sistema de secagem por fluxo de ar aquecido. E na sequência, também foram analisadas as composições do pó de tomate obtido por meio dos mesmos tratamentos tendo sofrido o tratamento prévio de branqueamento.

A análise de variância mostrou uma diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias dos parâmetros de pH, acidez, umidade, cinzas, proteína, gordura, glicose, frutose, sacarose, carotenóides, e croma, confirmada ANOVA e testes de Tukey.

### 5.2.1 Composição do tomate *in natura*

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) *in natura*, da variedade longa vida (figura 3) usado para o estudo comparativo dos tratamentos de secagem foi caracterizado, com resultados apresentados na tabela 4. Na composição do tomate percebe-se um elevado teor de umidade, de açúcares, de ácidos orgânicos expresso

em ácido cítrico, e uma considerável quantidade de carotenóides (licopeno e  $\beta$ -caroteno). Contudo, possui ainda, alguns nutrientes encontrados em baixa concentração, como a proteína e a gordura.

Tabela 4- Composição do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) *in natura*

Tomate in natura		
	Base úmida	Base seca
Umidade (%)	94,50 $\pm$ 0,09	-
Atividade de água	0,9928 $\pm$ 0,01	-
Cinzas (%)	0,53 $\pm$ 0,19	9,36
Proteína (%)	1,00 $\pm$ 0,03	18,18
Lipídios (%)	0,03 $\pm$ 0,01	0,54
Acidez (g/100g)	5,80 $\pm$ 0,02	105,45
pH	4,27 $\pm$ 0,01	-
$\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	45,46 $\pm$ 0,16	81, 82
Licopeno ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	43,05 $\pm$ 0,32	78,27
Compostos Fenólicos ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	45,91 $\pm$ 0,48	83,47
Vitamina C ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	99,71 $\pm$ 1,37	181,29

Fonte: A autora.

Os tomates foram selecionados por análise visual de modo que apresentassem cor vermelha característica do fruto maduro e uniformidade de cor e tamanho, como visualizado na figura 4.

Figura 4- Tomate in natura (*Lycopersicon esculentum* Mill)



Fonte: A autora.

A análise da cor foi realizada nos tomates *in natura*, (Tabela 5), para posterior comparação com o pó de tomate obtido, de modo a verificar as alterações ocorridas através de cada um dos processos de secagem.

Tabela 5- Parâmetros de análise de cor do pó de tomate *in natura*

	Parâmetros de cor		
	L*	a*	b*
Tomate <i>in natura</i>	43,64 ± 1,1	14,96 ± 1,25	24,08 ± 1,49

Fonte: A autora.

Os resultados da caracterização do tomate *in natura*, apresentados nas tabelas 4 e 5, são médias aritméticas dos valores encontrados através das caracterizações específicas em triplicatas. Pode-se verificar que os mesmos não sofreram variações significativas entre os lotes analisados.

Por meio da análise de cor utilizando o método CieL\*a\*b\* os valores encontrados para cada um dos eixos nas escalas de cor, conforme apresentados na tabela 5, indicam que o tomate estudado apresenta coloração vermelha. Indicado pelo valor L\* que está mais próximo da extremidade que representa a cor branca, o valor de a\* está localizado entre os tons verde e vermelho, mais próximo do vermelho, e o valor de b\* está mais próximo do amarelo.

### 5.2.2 Composição do tomate desidratado sem branqueamento

De acordo com as metodologias de secagem realizadas neste trabalho, foi possível quantificar as composições das amostras de pó de tomate, sem um tratamento prévio de branqueamento, a partir do método de liofilização, de estufa, e do sistema de secagem por fluxo de ar aquecido (Tabela 6).

A análise de variância mostrou uma significativa diferença ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias de alguns parâmetros analisados, tais como: proteína, lipídios, frutose, sacarose, acidez total titulável, pH, atividade de água,  $\beta$ -caroteno, licopeno, compostos fenólicos, vitamina C, e dos parâmetros de análise de cor que foram confirmadas pelo teste de Tukey.

Tabela 6- Resultados das análises de composição do pó de tomate não branqueado (média  $\pm$  desvio- padrão)

Parâmetros	Tipo de secagem					
	Estufa		Liofilização		Fluxo de ar	
	Base úmida	Base seca	Base úmida	Base seca	Base úmida	Base seca
Umidade (%)	15,70 <sup>a</sup> $\pm$ 1,48	-	16,22 <sup>a</sup> $\pm$ 1,35	-	14,75 <sup>a</sup> $\pm$ 0,29	-
Atividade de água	0,3842 <sup>b</sup> $\pm$ 0,01	-	0,3598 <sup>a</sup> $\pm$ 0,01	-	0,3516 <sup>a</sup> $\pm$ 0,01	-
Cinzas (%)	7,09 <sup>a</sup> $\pm$ 0,60	8,41	8,60 <sup>a</sup> $\pm$ 1,33	10,26	6,57 <sup>a</sup> $\pm$ 1,66	7,71
Proteína (%)	10,46 <sup>b</sup> $\pm$ 0,58	12,41	12,03 <sup>a</sup> $\pm$ 0,26	14,36	11,54 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,09	13,54
Lipídios (%)	1,00 <sup>b</sup> $\pm$ 0,03	1,18	0,33 <sup>a</sup> $\pm$ 0,03	0,39	0,52 <sup>c</sup> $\pm$ 0,03	0,61
Acidez (g/100g)	9,39 <sup>a</sup> $\pm$ 0,15	11,14	10,07 <sup>a</sup> $\pm$ 0,54	12,02	7,13 <sup>b</sup> $\pm$ 0,08	8,36
pH	4,36 <sup>b</sup> $\pm$ 0,02	-	4,43 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00	-	4,41 <sup>a</sup> $\pm$ 0,01	-
$\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	205,71 <sup>b</sup> $\pm$ 12,03	244,02	265,03 <sup>a</sup> $\pm$ 0,07	316,34	265,03 <sup>a</sup> $\pm$ 0,15	310,88
Licopeno ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	206,47 <sup>c</sup> $\pm$ 0,29	244,92	320,68 <sup>b</sup> $\pm$ 0,47	382,76	352,79 <sup>a</sup> $\pm$ 0,11	413,83
Compostos Fenólicos (mg.g <sup>-1</sup> )	330,96 <sup>a</sup> $\pm$ 8,25	392,59	123,02 <sup>c</sup> $\pm$ 5,87	146,84	273,74 <sup>b</sup> $\pm$ 1,37	321,10
Vitamina C (mg.kg <sup>-1</sup> )	32,82 <sup>b</sup> $\pm$ 8,80	38,93	51,43 <sup>a</sup> $\pm$ 2,05	61,38	59,20 <sup>a</sup> $\pm$ 1,24	69,43

NOTA- Valores com letras minúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), em nível de confiança de 95%. São apresentados os valores médios das triplicatas de cada tempo/forma de secagem e respectivo desvio padrão.

Fonte: A autora.

A média da redução de umidade dos tomates desidratados a partir do *in natura* foi de 78 %, não apresentando diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ). A definição do tempo necessário para cada um dos processos foi definida com base na umidade média final, entre 15 a 16 %. Através de testes preliminares, foi o valor de umidade mais adequado para a obtenção do pó, considerando que teores mais elevados de umidade resultaram em aglomeração das partículas, e teores de umidade inferiores resultaria no rendimento muito baixo, além de coloração mais escura.

A importância do conteúdo de umidade no pó de tomate está relacionada com a sua de vidade prateleira. Para Lavelli e outros (2012), maiores teores da umidade em pós de produtos desidratados sugerem alterações nas propriedades físicas do produto, promovendo a aglomeração de partículas e possibilitando o aumento das velocidades de reações químicas.

Entretanto, Lavelli e outros (2012) relatam que pode ocorrer escurecimento não enzimático, em teores de umidade acima de 32 %, através da reação de Maillard, por aceleração da degradação e oxidação do conteúdo de carotenóides e de ácidos graxos durante o armazenamento.

A atividade de água está relacionada principalmente com a conservação e o tempo de vida de prateleira. Apenas a atividade de água para o pó de tomate obtido por meio da secagem em estufa teve o valor levemente mais elevado, conforme observado na Tabela 6. Entretanto, quando a atividade de água tem valores inferiores a 0,4 o perigo de desenvolvimento de microorganismos patógenos é muito baixo. Além disso, a velocidade das reações químicas e enzimáticas que podem ocasionar alterações nas características do produto é muito reduzida em baixa atividade de água, também confirmado pelo estudo de Lavelli e outros (2012).

Todos os processos resultaram na concentração dos teores de cinzas a partir do produto *in natura* em aproximadamente quinze vezes. Entre as amostras desidratadas, não houve diferença significativa, indicando que não ocorreu a degradação de cinzas por influência do calor. Este comportamento foi similar ao encontrado por Suárez e outros (2008).

O teor de proteína concentrou-se em aproximadamente dez vezes no pó de tomate, obtido por todos os tratamentos, a partir do tomate *in natura* (Tabelas 4 e 6). O maior teor de proteína foi encontrado no tomate desidratado por liofilização devida à baixa temperatura, preservando a qualidade do produto final. Os tratamentos submetidos ao calor tiveram valores menores, sendo os tratamentos de secagem por fluxo de ar aquecido e em estufa, com menor e maior degradação, respectivamente (Tabela 6).

O tratamento de secagem em estufa resulta em produtos que sofrem maiores alterações pelo tratamento térmico, devido ao tipo de transferência de calor por condução (MONTEVALI, MANAEI e KHOSHTAGAZA, 2011).

O tomate possui baixos teores de gordura na sua forma *in natura* (Tabela 4), como normalmente ocorre nas frutas. Contudo, houve a concentração em média dezesseis vezes desse nutriente para os produtos desidratados através de todos os tratamentos de secagem.

No pó de tomate submetido ao tratamento em estufa com circulação de ar foi encontrada a maior concentração de lipídio. Ao se comparar com o conteúdo graxo do pó de tomate obtido pelo sistema de secagem por fluxo de ar aquecido é notada a redução dessa fração, que conforme explica Antal e outros (2011), a passagem do fluxo de ar aquecido pode promover o arraste do conteúdo de certos componentes voláteis junto com o vapor de água, solubilizados com a elevação da temperatura.

Neste sentido, a concentração de matéria graxa no pó de tomate pode favorecer as reações de oxidação alterando a cor e o sabor do produto durante o armazenamento. Entretanto, como as concentrações de gordura encontrada nos tomates desidratados foram inferiores a 1 %, as reações de oxidação não influenciariam na qualidade do produto final durante curto período de armazenamento.

O teor de ácido cítrico aumentou acima de 57 % nos tomates desidratados comparados ao *in natura* (Tabela 4 e 6). A acidez foi maior para os tomates desidratados em estufa por 24 horas, coerente com a tendência dos valores de pH, que pode levar a alterações de sabor e aroma no tomate (Cebolla-Cornejo et al., 2011). Por outro lado, os ácidos orgânicos presentes nos frutos, em conjunto com os teores de açúcares, representam um importante atributo de qualidade, auxiliando como ponto de referência o grau de maturação das frutas. Segundo Liu et al. (2010), o aumento de pH no tomate em pó pode estar relacionado a reações de amins básicas ao formar compostos de baixa basicidade durante a reação de Maillard. Apesar do aumento do pH no tomate desidratado, todos os tratamentos resultaram em produtos com valores de pH abaixo da faixa de crescimento de micro-organismos patógenos (Lavelli and Torresani, 2010).

Houve aumento nos teores de carotenóides após o processo de desidratação, aumentando entre seis e oito vezes a concentração de licopeno e de seis vezes a de  $\beta$ -caroteno, em relação ao tomate *in natura*. Todavia, a temperatura utilizada para a secagem favoreceu a redução dos teores de licopeno e de  $\beta$ -caroteno (Tabela 4), visualizado para o tratamento de secagem em estufa por 24 horas. O aquecimento prolongado resulta na formação de substâncias voláteis na forma *trans*, principalmente no licopeno (LAVELLI e TORRESANI, 2011).

Houve concentração de em média de cinco vezes no conteúdo de compostos fenólicos para o pó de tomate (Tabela 6) comparado ao tomate *in natura* (Tabela 4). O maior teor de compostos fenólicos totais foi encontrado no pó de tomate que foi submetido ao processo de liofilização, seguido do pó de tomate obtido pelo sistema de secagem por fluxo de ar aquecido e em estufa com circulação de ar, em ordem decrescente.

Pode-se notar que a redução nos compostos fenólicos totais está relacionada com o tempo de exposição ao calor, ou seja, quanto mais tempo o produto foi exposto à alta temperatura, maior degradação desses compostos. Da mesma

maneira como os carotenóides, os fenólicos podem ter sua concentração aumentada quando aquecidos por curto período, de acordo com Vallderdú-Queralt e outros (2012), os compostos fenólicos são liberados de dentro das células quando são submetidos ao aquecimento brando e sofrem degradação com o aumento do tempo de exposição ao calor e também de altas temperaturas. Além disso, essas moléculas podem sofrer oxidação sendo rapidamente transformadas em outros compostos.

O conteúdo de ácido ascórbico foi superior a 99,71 mg kg<sup>-1</sup> no tomate in natura (Tabela 4), dessa maneira é notado que houve uma grande redução no conteúdo desse nutriente após todos os tratamentos de secagem, conforme Tabela 6. Existe uma diferença significativa no conteúdo de ácido ascórbico entre os tratamentos ( $p \geq 0,5$ ). Para o tratamento onde os tomates foram submetidos a secagem por 24 horas em estufa, houve maior redução no conteúdo deste nutriente. Liu e outros (2010), afirmam que o ácido ascórbico é facilmente degradado quando submetido a temperaturas elevadas (acima de 37 °C), podendo ser transformado rapidamente em outras substâncias, com velocidade destas reações aceleradas em presença e luz.

Os tratamentos de secagem por liofilização não apresentaram diferenças significativas de acordo com a ANOVA, entretanto, pode-se indicar que houve degradação do nutriente em ambos os tratamentos devido ao longo período de armazenamento das amostras até a data da análise.

O escurecimento do tomate pode ser devido à degradação dos carotenóides o que modifica a cor típica do tomate fresco, ou ainda, pelo aumento da concentração de carotenóides pelos processos de secagem, mudando gradualmente para tons mais amarronzados ou vermelho intenso (HEREDIA et al., 2010). Deve ser considerado ainda, o escurecimento causado pela reação de Maillard, que ocorre quando há aquecimento de açúcares em presença de proteína. As diferenças de cor entre os pós obtidos podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5- Pó de tomate obtido pelo processo em estufa (a), liofilização (b) e fluxo de ar (c) não branqueados.



Fonte: A autora.

A Figura 5 apresenta respectivamente os pós de tomate obtidos pelos (a), (b) e (c). Os mesmos pós obtidos resultaram em parâmetros de cor, conforme a escala CIEL\*a\*b\*, os quais estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Parâmetros de análise de cor do pó de tomate não branqueado

Tipo de Secagem	Parâmetros de cor		
	L*	a*	b*
Estufa	48,24 <sup>a</sup> ± 0,04	10,39 <sup>b</sup> ± 0,03	25,40 <sup>c</sup> ± 0,01
Liofilização	65,25 <sup>c</sup> ± 0,02	10,26 <sup>a</sup> ± 0,05	22,60 <sup>b</sup> ± 0,05
Fluxo de ar	49,28 <sup>b</sup> ± 0,01	11,65 <sup>b</sup> ± 0,03	14,20 <sup>a</sup> ± 0,09

NOTA- Valores com letras minúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), em nível de confiança de 95%. São apresentados os valores médios das triplicatas de cada tempo/forma de secagem e respectivo desvio padrão.

Fonte: A autora.

O pó de tomate desidratado por liofilização foi o que apresentou maior valor de luminosidade, e o pó de tomate desidratado em estufa, foi o que apresentou menor luminosidade indicando que foi o produto mais escuro, conforme a Tabela 7.

Os valores encontrados são todos positivos, indicando que todos tendem ao vermelho com diferentes intensidades (Tabela 7). O pó de tomate obtido pela secagem por liofilização foi o que apresentou menor intensidade da cor vermelha, e o pó de tomate desidratado por fluxo de ar aquecido foi o que apresentou maior intensidade da coloração vermelha.

O pó de tomate que mais se aproximou do amarelo intenso foi o pó de tomate obtido pela secagem em estufa. Já, o pó obtido por fluxo de ar aquecido, apresentou menor intensidade da coloração amarela, indicando que produto mais se aproximou dos parâmetros de cor do tomate in natura, conforme as tabelas 5 e 7. O tomate



desidratado por liofilização também apresentou valor elevado para esse parâmetro, indicando a aproximação da intensidade de coloração amarela.

### 5.2.3 Composição do tomate desidratado com branqueamento

Os tomates que foram submetidos ao processo de branqueamento com vapor previamente às secagens foram analisados da mesma maneira que o pó de tomate obtido sem a etapa de branqueamento, com resultados expressos na Tabela 8.

Tabela 8- Resultados das análises de composição do pó de tomate branqueado

Parâmetros	Tipo de secagem					
	Estufa		Liofilização		Fluxo de ar	
	Base úmida	Base seca	Base úmida	Base seca	Base úmida	Base seca
Umidade (%)	22,40 <sup>a</sup> ± 1,14	-	15,37 <sup>c</sup> ± 0,59	-	19,80 <sup>b</sup> ± 0,73	-
Atividade de água	0,3645 <sup>b</sup> ± 0,01	-	0,3347 <sup>ab</sup> ± 0,01	-	0,3582 <sup>b</sup> ± 0,01	-
Cinzas (%)	7,31 <sup>a</sup> ± 0,79	9,42	7,32 <sup>a</sup> ± 0,32	8,65	8,53 <sup>a</sup> ± 0,28	10,63
Proteína (%)	9,14 <sup>a</sup> ± 1,14	11,78	11,49 <sup>a</sup> ± 0,09	13,58	12,15 <sup>a</sup> ± 1,57	15,15
Lipídios (%)	0,52 <sup>c</sup> ± 0,03	0,67	0,65 <sup>b</sup> ± 0,02	0,77	0,86 <sup>a</sup> ± 0,05	1,07
Acidez (g/100g)	10,80 <sup>a</sup> ± 0,01	13,92	9,31 <sup>b</sup> ± 0,22	11,00	10,27 <sup>a</sup> ± 0,49	12,81
pH	4,25 <sup>b</sup> ± 0,08	-	4,24 <sup>b</sup> ± 0,08	-	4,52 <sup>a</sup> ± 0,03	-
β-caroteno (µg.g <sup>-1</sup> )	209,58 <sup>a</sup> ± 1,46	270,08	353,89 <sup>b</sup> ± 4,47	418,16	685,38 <sup>c</sup> ± 14,43	854,59
Licopeno (µg.g <sup>-1</sup> )	211,41 <sup>a</sup> ± 1,86	272,43	355,84 <sup>b</sup> ± 3,74	420,46	724,56 <sup>c</sup> ± 5,25	903,44
Compostos Fenólicos (mg.g <sup>-1</sup> )	306,75 <sup>a</sup> ± 1,37	395,29	115,87 <sup>c</sup> ± 3,83	136,91	242,07 <sup>b</sup> ± 0,69	301,83
Vitamina C (mg.kg <sup>-1</sup> )	59,30 <sup>a</sup> ± 7,96	76,42	35,89 <sup>b</sup> ± 1,96	42,41	62,33 <sup>a</sup> ± 6,96	77,72

NOTA- Valores com letras minúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), em nível de confiança de 95%. São apresentados os valores médios das triplicatas de cada tempo/forma de secagem e respectivo desvio padrão.

Fonte: A autora.

Para as amostras que sofreram branqueamento prévio das secagens, houve diferença significativa nos teores de umidade final do pó de tomate entre as amostras. O pó de tomate obtido pela secagem em estufa foi o que teve maior conteúdo de umidade, e o pó obtido pela secagem por liofilização teve o menor valor encontrado.

Segundo Lavelli et al. (2012), elevados conteúdos de umidade e também de atividade de água, podem provocar alterações nas propriedades físicas do pó de

tomate, quando em valores acima de 0,32. Todos os pós de tomate obtiveram valores de atividade de água acima deste valor. Quando em concentrações próximas a 0,35 (Tabela 8) pode haver aumento da velocidade de reações promovendo escurecimento, oxidação de alguns compostos, como lipídios e ácido ascórbico, e também a aglomeração de partículas. Entretanto, esses valores de atividade de água não favorecem o desenvolvimento de microrganismos durante o armazenamento do produto.

Para os teores de cinzas, não foram verificadas diferenças significativas entre as amostras ao nível de  $p \leq 0,05$ . Ao comparar os teores de cinzas das amostras que sofreram branqueamento com o pó de tomate sem branqueamento é notado um aumento de aproximadamente 4% na concentração das cinzas, indicando que o pré-tratamento com vapor reduziu a perda de cinzas durante os processos de secagem.

Não houve diferença significativa pelo teste de Tukey entre os valores de proteína encontrados nas amostras analisadas quando sofreram branqueamento prévio dos tratamentos dos distintos de secagem. Entretanto, pode-se observar que houve menor degradação durante a secagem quando comparado com o pó de tomate desidratado sem o branqueamento antes da secagem.

Os conteúdos de lipídios foram concentrados da mesma maneira como ocorreu nos tratamentos de secagem sem o tratamento de branqueamento prévio. Entretanto, houve aumento médio de aproximadamente 7 % no teor de lipídios dos pós de tomate que sofreram tratamento de branqueamento com vapor. Entre as amostras houve diferença significativa nos conteúdos lipídicos, sendo o pó obtido por fluxo de ar aquecido com maior conteúdo graxo, em seguida, com menor quantidade, o pó obtido por liofilização, e o processo pela secagem em estufa, conforme visualizado na Tabela 8.

A manutenção da fração lipídica pode ser justificada pela inativação enzimática conforme as afirmações dos autores que apontam a presença das mesmas, promovendo a quebra de nutrientes presentes no tomate, e que podem ter as suas ações aceleradas pelo processamento térmico, como acontece nos processos de secagem (ANESE & SOVRANO, 2004; FACHIN et al., 2002; ZHANG et al., 2012).

Da mesma maneira como ocorreram os tratamentos de secagem anteriores, houve a concentração dos ácidos no pó de tomate posterior a secagem, entretanto, a concentração da acidez nas amostras foi em média 8 % maior quando os tomates

sofreram o tratamento de branqueamento com o vapor (Tabela 8). A manutenção dos ácidos presentes no fruto pode também ser dada pela inativação das enzimas que degradam o produto. Além disso, os ácidos participam das reações de escurecimento, com velocidades de reação diminuídas pela inativação de enzimas e consequente maior concentração ao final do processo.

Não foram observadas diferenças dos valores de pH nos diferentes tratamentos de secagem do tomate. Conforme apresentado na Tabela 8 apresentam valor de pH abaixo da faixa ótima de desenvolvimento de microrganismos.

A concentração de  $\beta$ -caroteno foi aumentada quando foi realizado o tratamento de branqueamento antes de todos os processos de secagem estudados (Tabelas 6 e 8). A concentração de  $\beta$ -caroteno no tomate desidratado pelo sistema de fluxo de ar aquecido foi 3,3 vezes maior do que a concentração no pó desidratado em estufa, e 1,9 vezes maior do que no pó de tomate desidratado por liofilização. Resultados estes, que indicam que houve degradação do  $\beta$ -caroteno quando aquecido por período prolongado (24 horas), sem aumento importante quando submetido à secagem a frio. Já o método de secagem por fluxo de ar aquecido promoveu maior aumento na concentração desse nutriente, indicando que o método não promoveu degradação do mesmo.

As concentrações de licopeno nos pós de tomate apresentaram comportamento similar ao do  $\beta$ -caroteno quando sofreram o tratamento de branqueamento (Tabela 8), sendo a concentração de licopeno no pó de tomate obtido pelo sistema de fluxo de ar 3,4 vezes maior do que no pó obtido pela secagem em estufa e duas vezes maior do que no pó obtido pelo método de liofilização. Indicando da mesma maneira que período prolongado de exposição ao calor promove degradação do nutriente, e tratamento a frio não promove aumento da concentração. Ao comparar os resultados da Tabela 8 com os resultados da Tabela 6 em termos de concentração de carotenoides ( $\beta$ -caroteno e de licopeno), ressalta-se que o tratamento de branqueamento resulta no aumento da concentração desses compostos, que acarretam em melhor qualidade no pó de tomate nos aspectos de cor e benefícios nutricionais do produto.

Os compostos fenólicos no pó de tomate que sofreu o tratamento de branqueamento antes da secagem apresentaram diferenças em sua concentração final, quando comparado com o pós obtidos pelos três processos de secagem e que não passaram pelo tratamento de branqueamento (Tabelas 6 e 8). As amostras que

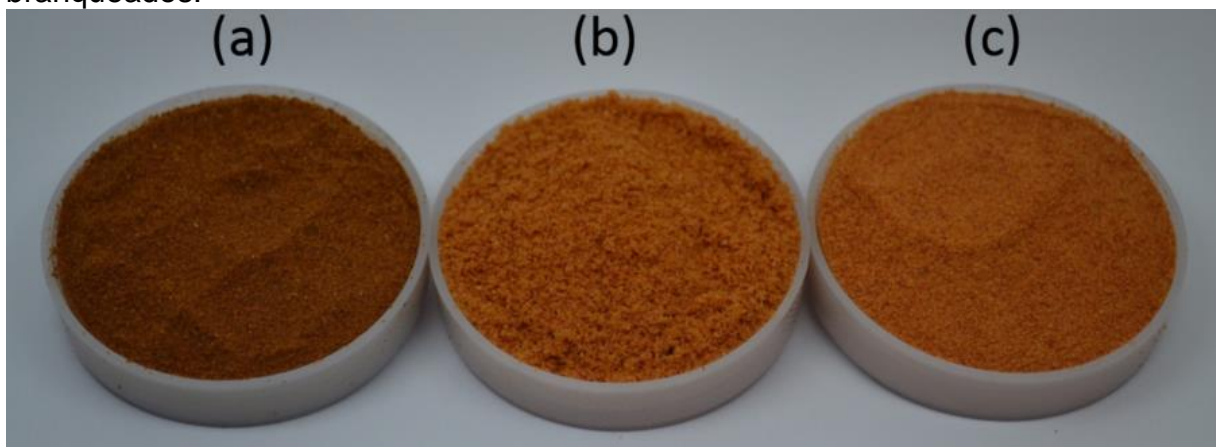
passaram pelo branqueamento com vapor tiveram uma ligeira redução na sua concentração final.

De acordo com a afirmação de Vallderdú-Queralt e outros (2012), os compostos fenólicos sofrem maior degradação quando expostos ao calor e oxigênio por mais tempo. Desse modo, pode-se afirmar que o tempo de exposição do calor do processo de branqueamento, e ao oxigênio durante a manipulação dos tomates para o preparo e o processo de secagem pode ter permitido alguma degradação destes compostos. Tratando-se do tempo de exposição ao calor entre os tratamentos de secagem, a redução foi proporcional ao tempo de exposição, como pode ser visualizado na Tabela 8.

O conteúdo de ácido ascórbico no pó de tomate obtido pela secagem precedida de branqueamento foi reduzido após a secagem por todos os tratamentos, da mesma maneira que nos tratamentos onde o branqueamento não foi realizado (Tabelas 6 e 8). Contudo, um ligeiro aumento na concentração deste nutriente pode ser observado, visto que o tratamento de branqueamento prévio à desidratação promove maior estabilidade no produto, como resultado da inativação de enzimas que podem acelerar essas reações (ANESE; SOVRANO, 2006). Apesar disso, houve grande redução no conteúdo de ácido ascórbico em todas as amostras de pó de tomate analisadas, devido ao processamento e podendo ter sido favorecidas pela temperatura e presença de oxigênio durante o período de armazenamento até que fosse realizada a análise.

Foi realizada análise comparativa da cor para os pós de tomate que sofreram branqueamento antes de todos os processos de secagem, com diferenças visualizadas na Figura 6.

Figura 6- Pó de tomate obtido pelo processo em estufa, liofilização e fluxo de ar branqueados.



Fonte: A autora.

Com o auxílio da análise de cor, utilizando o método CIEL\*a\*b\*, puderam ser verificadas efetivamente as diferenças na coloração de cada um dos pós de tomate obtidos pelos métodos de secagem avaliados, conforme apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Parâmetros de análise de cor do pó de tomate com branqueamento

Tipo de Secagem	Parâmetros de cor		
	L*	a*	b*
Estufa	44,87 <sup>a</sup> ± 0,01	8,03 <sup>a</sup> ± 0,05	11,98 <sup>a</sup> ± 0,05
Liofilização	53,14 <sup>b</sup> ± 0,02	15,81 <sup>b</sup> ± 0,01	19,68 <sup>b</sup> ± 0,06
Fluxo de ar	57,53 <sup>c</sup> ± 0,01	15,76 <sup>b</sup> ± 0,06	25,29 <sup>c</sup> ± 0,21

NOTA- Valores com letras minúsculas iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), em nível de confiança de 95%. São apresentados os valores médios das triplicatas de cada tempo/forma de secagem e respectivo desvio padrão.

Fonte: A autora.

Observando os valores apresentados na Tabela 9, pode ser notado que o pó de tomate branqueado que apresentou maior luminosidade (L) e também a maior intensidade da coloração vermelha foi o obtido por secagem em fluxo de ar aquecido. O pó de tomate obtido por secagem em estufa foi o que apresentou maior intensidade da cor amarela (b\*) e também a menor intensidade de vermelho (a\*) e também de luminosidade (L), representando que foi o produto que ficou com a coloração mais escura compondo uma tonalidade próxima do marrom. O tomate que foi branqueado e desidratado por liofilização, apresentou aumento da intensidade de coloração vermelha quando passou pelo branqueamento em relação ao tomate

desidratado sem o branqueamento. Entretanto o pó obtido pelo sistema de fluxo de ar foi o que resultou melhores características de cor, aproximando-se mais da coloração vermelha intensa, quando comparados com o tomate *in natura* (Tabela 5).

## 6 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento desta pesquisa, ficou demonstrado que o método de secagem por fluxo de ar promove a remoção da umidade no produto de forma mais rápida e eficiente do que os sistemas convencionais já utilizados pela indústria. Apresenta menor consumo energético comparado aos sistemas convencionais já utilizados industrialmente para secagem de alimentos.

Por meio das análises químicas e instrumentais realizadas no tomate em pó obtido utilizando os três sistemas de secagem foi possível comparar e afirmar os benefícios da utilização do sistema de secagem de fluxo de ar, com menor degradação de nutrientes no produto final. Podem também, ser apontados melhores resultados nos aspectos de atividade de água, menor degradação de proteínas, compostos fenólicos, ácido ascórbico e destacou-se o aumento da concentração de carotenoides.

O aumento da intensidade dos tons avermelhados no pó de tomate foi resultado do aumento da concentração dos carotenoides, responsáveis pela cor, e que também favorece a qualidade do produto, principalmente quando foi utilizado o pre-tratamento de branqueamento, levando à maior estabilidade dos nutrientes e aumento da intensidade da cor vermelha.

Dessa maneira, o método de secagem por fluxo de ar aquecido apresenta vantagens quanto aos custos de operação, resultando em produto com melhor qualidade e menor degradação de nutrientes. Além da redução do tempo de processamento e redução do consumo energético, com conseqüente aumento de produtividade.

A redução do consumo energético e de tempo de processo favorece o aumento de produtividade e lucratividade para a indústria, visto que os custos de operação são menores.

## **7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

O estudo abordado nesta dissertação está baseado em uma linha de pesquisa, cujas patentes são da própria equipe. Desta forma, existem muitas possibilidades de abordagem do assunto, com perspectivas promissoras, seja no conhecimento científico como no conhecimento tecnológico.

Abresenta-se como propostas de trabalhos futuros:

- a secagem por fluxo a partir de um processo contínuo.
- o estudo do processo em escala de planta piloto.
- modificações nas variáveis de tempo e temperatura para o processo estudado.
- estudo da viabilização de desidratação do processo de fluxo para outros frutos.



## REFERÊNCIAS

- ABANO, E. E.; MA, H.; QU, W. Influence of combined microwave-vacuum drying on drying kinetics and quality of dried tomato slices. **Journal of Food Quality**, v 35, p. 159–168, 2012.
- ALIBAS, I. Determination of drying parameters, ascorbic acid contents and color characteristics of nettle leaves during microwave-, air- and combined microwave-air-drying. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 213-233, 2010.
- ANESE, M.; SOVRANO, S. Kinetics of thermal inactivation of tomato lipoxygenase. **Food Chemistry**, v. 95, p. 131-137, 2006.
- ANGUELOVA, T.; WARTHESEN, J. Lycopene stability in tomato powders. **Journal of Food Science**, v. 65, p.67-70, 2000.
- ANTAL, T.; FIGIEL, A.; KERÉKES, B.; SIKOLYA, L. Effect of Drying Methods and the Quality of the Essential Oil of Spearmint Leaves (*Mentha spicata* L.). **Drying Technology**, v. 29, p. 1836-1844, 2011.
- BATALHA, M.O. **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2008.
- BELÉN-CAMACHO, D.R.; ROMAN, J.C; PANTALEÓN, D.G.; MORENO-ÁLVAREZ, M.J.; MARTÍNEZ, C.M.; ESCALONA, C.E.O. Effect of solar drying on the contents of moisture, carbohydrates, total carotenóides and peroxide value of coroba palm (*Attalea* spp.) mesocarp. **Interciencia**, v. 32, n.4, p. 257-261, 2007
- BORCHANI, C. BESBES, S.; MASMOUDI, M.; BLECKER, C.; PAQUEUOT, M.; ATTIA, H. Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates. **Food Chemistry**, v. 125, p. 1194–1201, 2011.
- CANTERI, M. G. ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E. A., GODOY, C. V. SASM-Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n.2, p.18-24, 2001.
- CARVALHO, H.G.; REIS, D.R.; CAVALCANTE, M.B.** *Gestão da Inovação*. Curitiba: Aymar, 2011.
- CEBOLLA-CORNEJO, J.; ROSELLÓ, S.; VALCÁREL, M.; SERRANO, E.; BELTRÁN, J.; NUEZ, F. Evaluation of Genotype and Environment Effects on Taste and Aroma Flavor Components of Spanish Fresh Tomato Varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, N. 6, p.2440-2450, 2011.

CERNISEV, S. Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 114–118, 2010.

CHANFORAN, C.; LOONIS, M.; MORA, N.; CARIS-VEYRAT, C.; DUFOUR, C. The impact of industrial processing on health-beneficial tomato microconstituents. **Food Chemistry**, v. 134, p.1786–1795, 2012.

CHOICHAOEN, K.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S. Comparative evaluation of performance and energy consumption of hot air and superheated steam impinging stream dryers for high-moisture particulate materials. **Applied Thermal Engineering**, v. 31, p. 3444 – 3452, 2011.

CHOU, S.K. ; CHUA, K.J. ; MUJUMDAR, A.S. ; HAWLADER, M.N.A. ; HO, J.C. Food and Bioproducts. **Processing**, v.78, n.4, p.193-203, 2000.

CORRÊA, J. L. G.; SILVA Filho, E.D.S.; BATISTA, M.B.; AROLA, F.; FIOREZES, R. Desidratação osmótica de tomate seguida de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n.1, p. 35-42, 2008.

DAYER, C.H.; HAMMOND, G.P; JONES, C.; MCKENNA, R.C. Enabling technologies for industry demand managements. **Energy Policy**, v. 36, p. 4434-4443, 2008.

DOYMAZ, I. Drying of Pomegranate Arils and Selection of a Suitable Drying Model. **Food Biophysics**, v. 6, n. 4, 2011.

ELOI, W.M.; DUARTE, S.N.; SOARES, T.M.; SILVA, E.F.F. Influência de diferentes níveis de salinidade nas características sensoriais do tomate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.1, p. 16-20, 2011.

EYILER, E.; OZTAN, A. Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 307-311, 2011.

FACHIN, D.; VAN LOEY, A.; INDRAWATI; LUDI KHUYZE, L.; HENDRICKX, M. Thermal and High-Pressure Inactivation of Tomato Polygalacturonase: A Kinetic Study. **Journal of Food Science**, v. 67, N. 5, p. 1610-1615, 2002.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Statistics Division. **Food Balance Sheets: Balance as Domestic Supply/Utilization**, 2009. Disponível em <[http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/\\*E](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/*E)>. Acesso em 18 de novembro de 2013.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. 2ª Edição. Porto Alegre. Artmed, 2006.

FERNANDES, F.A.N.; RODRIGUES, S.; LAW, C.L.; MUJUNDAR, A.S. Drying of exotic tropical fruits: A comprehensive review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p. 163-185, 2011.

OECD; FINEP. **Manual de Oslo**: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3ª Edição, 2005. Disponível em <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0026/26032.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0026/26032.pdf)>. Acesso em 26 de junho de 2013.

GAWARE, T.J.; SUTAR, N.; THORAT, B.N. Drying of Tomato Using Different Methods: Comparison of Dehydration and Rehydration Kinetics. **Drying Technology**, v.28, p. 651 – 658, 2010.

GEORGÉ, S.; TOURNIAIRE, F.; GAUTIER, H.; GOUPY, P.; ROCK, E.; CARIS-VEYRAT, C. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. **Food Chemistry**, v. 124, p. 1603–1611, 2011.

GHAJAR, M.H.; HASHEMABADI, S.H. CFD. Simulation of Capillary Condensation during Freeze Drying of Porous Material. **Chemical Engineering & Technology**, v. 34, n. 7, p. 1136-1142, 2011.

GIOAVANNETTI, M.; AVIO, L.; BARALE, R.; CECCARELLI, N.; CRISTOFANI, R.; IEZZI, A.; MIGNOLLI, F.; PICCIARELLI, P.; PINTO, B.; REALI, D.; SBRANA, C.; SCARPATO. Nutraceutical value and safety of tomato fruits produced by mycorrhizal plants. **British Journal of Nutrition**, v. 107, p. 242–251, 2012.

GONZÁLEZ, I.N.; VALVERDE, V.G.; ALONSO, J.G.; PERIAGO, M.J. **Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber**, v. 44, n. 5, p. 1528-1535, 2011.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A. Effect of osmotic pre-treatment and microwave heating on lycopene degradation and isomerization in cherry tomato. **Food Chemistry**, v. 123, p.92–98, 2010.

HOSSAIN, M.A.; GOTTSCHALK, K. Effect of moisture content, storage temperature and storage period on colour, ascorbic acid, lycopene and total flavonoids of dried tomato halves. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 1245–1253, 2009.

IGUAL, M.; GARCÍA-MARTINEZ, E.; MARTÍN-ESPARZA, M.E.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. **Food Research International**. v. 47, p. 284–290, 2012.

JAVANMARD, M.; ENDAN, J.; ABBAS, K.A.; ARVIN, F. Development of A Semi-Industrial Multi Fruit Dryer System Using Simultaneous Intelligent Control. **American journal of Applied Sciences**, v. 7, n. 2, p. 160-166, 2010.

KOWALSKI, S.J.; PAWLOWSKI, A. Energy consumption and quality aspect by intermittent drying. **Chemical Engineering and Processing**, v. 50, p.384–390, 2011.

KOWALSKI, S.J.; PAWLOWSKI, A. Intermittent Drying: Energy Expenditure and Product Quality. **Chemical Engineering & Technology**, v. 43, n. 7. p. 1123-1129, 2011.

LAVELLI, V.; TORRESANI, M.C. Modelling the stability of lycopene-rich by-products of tomato processing. **Food Chemistry**, v. 125, p. 529–535, 2011.

LAVELLI, V.; KERR, W.; HARSHA, P.S.C.S. **Phytochemical Stability in Dried Tomato Pulp and Peel as Affected by Moisture Properties**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.61, p.700-707, 2012.

LIU, F.; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. **Changes of tomato powder qualities during storage**. *Powder Technology*, v. 204, p. 159-166, 2010.

LIU, P.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A.S. Comparison of three microwave-assisted drying methods on the physiochemical, nutritional and sensory qualities of re-structured purple-fleshed sweet potato granules. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 141–147, 2012.

MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n.3, p.301-306, 2007.

MONTEIRO, C.S.; BALBI, M.E.; MIGUEL, O.G.; PENTEADO, P.T.P.S.; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentação e Nutrição**, v.19, n.1, p. 25-31, 2008.

MONTEVALI, A.; MINAEI, S.; KHOSHTAGHAZA, M.H.; AMIRNEJAT, H. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. **Energy**, v. 36, p. 6433 – 6441, 2011.

MONTEVALI, A.; MINAEI, S.; KHOSHTAGAZA, M.H. Evaluation of energy consumption in different drying methods. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 1192–1199, 2011.

MORETTI, L.C.; MATTOS, L.M. **Boas Práticas Agrícolas para a Produção Integrada de Tomate Industrial**. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, Circular Técnica 75, 2009.

MRKIC, V.; COCCI, E.; ROSA, M.D.; SACCHETTI, G. Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n10, p. 1559- 1566, 2006.

MURARI, R. C. D. L. **Cinética da desidratação osmo-convectiva de tomates**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) -Instituto de Biociencias, Letras e Ciencias Exatas, Universidade Estadual Paulista, Sao Jose do Rio Preto, 2001.

NARAIN, N.; GALVÃO, M.S, SANTANA, K.L.; MOREIRA, J.J.S. Volatile Compounds in Tomato-Based Dried Products. **Drying Technology**, v.28, p. 232–239, 2010.

OETTERER, M.; REGIANO-DÁRCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. São Paulo. Editora Manole, 2006.

PUTRANO, A.; CHEN, X.D.; DEVAHASTIN, S.; XIAO, Z.; WEBLEY, P.A. Application of the reaction engineering approach (REA) for modeling intermittent drying under time-varying humidity and temperature. **Chemical Engineering Science**, v. 66, p. 2149–2156, 2011.

RAJKUMAR, P.; KULANTHAISAMI, S.; RAGHAVAN, G.S.V.; GARIE'PY, Y.; ORSAT, V. Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods. **Drying Technology**, v. 25, p. 1349–1357, 2007.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

RAUPP, D.S.; GARDINGO, J.R.; SCHEBESKI, L.S.; AMADEU, C.A.; BORSTO, A.V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **ACTA Amazonica**, v. 39, n.2, p. 415-422, 2009.

RICHTER, P.E.; LOPES, L.P.D. A confiabilidade relacionada ao desenvolvimento de produtos e à gestão da qualidade total. In: XXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2004, Florianópolis. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Florianópolis: ABEPRO2004, p. 1773-1771.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes Brasileiras de carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2008. 100p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis**. Washington: HarvestPlus, 2004, 63 p.

SÁNCHEZ, N.F.S.; BOLANC, R.V.; GÓMEZ, M.S.; HERRERA, A.P.; CORONADO, R.S. Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. **Food Science and Technology**. v. 46, p. 298 – 304, 2012.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.S.; BRANCO, I.G.; BITTENCOURT, T.U.; MUNHOZ, C.L. Influence of temperature and geometry in the drying kinetic of tomato (*Lycopersicum esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3a edição. São Paulo. Atlas, 2009.

SOARES, E.C.; OLIVEIRA, G.S.F.; MAIA, G.A.; MONTEIRO, J.C.S.; SILVA Jr., A.; S. FILHO, M.S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, 2001.

SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A.; SOUZA Filho, M.S.M. FIGUEIREDO, R.W.; SOUZA, A.C.R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 414-416, 2003.

SUÁREZ, M.H.; RODRÍGUEZ, E.M.; ROMERO, C.D. Chemical composition of tomato (*lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. **Food Chemistry**, v. 106, N. 3, p. 1046-1056, 2008.

TEBCHERANI, S. M. ; KUBASKI, E.T. ; SEQUINEL, T. ; JORGE, A.; SCHMIDT, S. Nanoita. **Processo de secagem para alimentos e resíduos utilizando o fluxo de ar**.BR1020130115029, 9 de maio de 2013, Brasil.

TEBCHERANI, S.M.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; VIEIRA, R.G.; CAVA, S.S.; SEQUINEL, T. Itajara Minérios Ltda. **Sistema de secagem de bagaço de maçã**. PI0806012-6, 19 jun. 2008, 14 set. 2010.

TONON, R.V.; BARONI, A.F.; HUBINGER, M.D. Study of osmotic dehydration of tomato in ternary solutions through response surface methodology. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, 2006.

TOPUZ, A.; DINCER, C.; OZDEMIR, K.S.; FENG, H.; KUSHAD, M. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). **Food Chemistry**, v. 129, p. 860–865, 2011.

VALLVERDÚ-QUERALT, A.; REMÓN, A.M.; CASALS-RIBES, I.; ANDRES-LACUERVA, C.; WATERHOUSE, A.L.; LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Effect of tomato industrial processing on phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity. **Food Science and Technology**, v.47, p. 154-160, 2012.

QUEIROZ, A.J.M.; DANTAS, H.J.; FIGUEIREDO, R.M.F.; MELO, K.S. Solar drying of Jack fruit almonds. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 66, p. 1150-1161, 2001.

VIEIRA, A.P.; NICOLETI, J.F.; TELIS, V.R.N. Freeze drying of pineapple slices: evaluation of drying kinetics and product quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.

YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 266-272, 2010.

ZHANG, X.; SHEN, L.; MENG, D.; SHENG, J. Arginase induction by heat treatment contributes to amelioration of chilling. **Postharvest Biology and Technology**, v. 79, p. 1-8, 2013.