



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ESTUDO DA SECAGEM DE MAÇÃS: UTILIZAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTOS

Ana Paula Cardoso do Amaral

Porto Alegre
2014 /2

Ana Paula Cardoso do Amaral

ESTUDO DA SECAGEM DE MAÇÃS: UTILIZAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTOS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Alimentos da UFRGS, para obtenção de grau de Engenheira de Alimentos

Orientador: Elizangela Gonçalves de Oliveira

Porto Alegre
2014 /2

Trabalho de Conclusão de Curso

Estudo da secagem de maçãs: utilização de pré-tratamentos

Ana Paula Cardoso do Amaral

Aprovada em ____ / ____ / ____

Elizangela Gonçalves de Oliveira (Orientador)
Doutora em Engenharia de Alimentos
ICTA/UFRGS

Tania Menegol
Mestre em Tecnologia de Alimentos
Doutoranda ICTA/UFRGS

Rafael Costa Rodrigues
Doutor em Engenharia Química
ICTA /UFRGS

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo incentivo e amor, em especial aos meus pais.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e compreensão.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino e confiança.

Ao ICTA, pelo acolhimento e pelo apoio.

Aos professores, pelo conhecimento transmitido, em especial a Elizangela Oliveira, pela paciência e orientação.

Aos colegas, por dividirem as experiências e pela amizade.

*“Algún día en cualquier parte, en cualquier
lugar indefectiblemente te encontrarás a ti
mismo, y ésa, sólo ésa, puede ser la más feliz o
la más amarga de tus horas”*

(Pablo Neruda)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma revisão bibliográfica sobre o uso de pré-tratamento associado secagem de maçãs de diferentes variedades. A produção mundial de maçãs aumentou em 28% nos últimos seis anos e o Brasil está classificado como o nono maior produtor de maçãs, sendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul responsáveis por 96% da produção brasileira. Devido as perdas na colheita somada as frutas que não possuem qualidade para serem comercializadas *in natura*, criou-se a necessidade de desenvolver novos produtos para diminuir o desperdício dos produtores. A maçã desidratada tornou-se uma boa alternativa, pois além da praticidade de transporte, maior vida de prateleira, é nutritiva e tem boa aceitação entre os consumidores. Com a expansão do mercado de maçãs desidratadas surgiu o desafio de desenvolver tecnologias baratas e adequadas, que atendessem as expectativas dos consumidores e produtores. Os atributos de maior importância para os consumidores são cor, textura e sabor. Os pré-tratamentos buscam minimizar os danos causados durante a secagem pelo escurecimento enzimático e não enzimático, além de preservar os atributos sensoriais e manter a textura. A secagem busca reduzir a atividade de água dos alimentos e por consequência estas reações que diminuem sua qualidade e sua vida de prateleira. Para realizar o trabalho foi realizada a pesquisa em dissertações de mestrado e doutorado além de periódicos que abordassem o tema de forma clara e concisa. Após a pesquisa foi observado que apesar de simples, o processo de secagem envolve um grande número de variáveis, sendo de grande importância seu conhecimento para que possa ser obtido um produto final de qualidade para o consumidor e econômico para a indústria.

Palavras-chave: Pré-tratamento. Desidratação. Secagem. Maçã.

ABSTRACT

The objective of this paper was to present a review literature about pretreatment and apple drying. The world production of apples increased by 28% on the past six years, Brazil is ranked as the ninth largest producer of apples, and the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul are responsible for 96% of the Brazilian production. There is a significant lost on the production, besides there are apples that do not have quality enough to be sold fresh, because of this, new products were created to reduce the waste of the producers. The dehydrated apple has become a good alternative, because of the convenience of transport, longer shelf life and the dehydrated apple is nutritious and has a good acceptance for the consumers. The expansion of dehydrated apples market has been challenging for the development of cheap and appropriate technologies that beat the expectations of consumers and producers. The most important attributes for consumers are color, texture and flavor. Pretreatments minimizing the damage caused during the process of drying by enzymatic and nonenzymatic browning, besides to preserve the sensory attributes and keep the firm texture. Drying seeks to reduce the water activity of foods and the reactions that decrease it quality and shelf life. The research was conducted with periodicals, master and doctoral dissertations which has a clear and concise content manner. After this work was observed that although simple, the drying process involves a large number of variables and because of this is important the knowledge that permit obtained a final product of quality for the consumers and economical for the industry.

Keywords: Pretreatment. Dehydration. Drying. Apple.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Qualidades de maçãs de maior consumo mundial.....	03
Figura 2 –	Ácido ascórbico (Vitamina C).....	12
Figura 3 –	Ácido cítrico.....	12
Figura 4 –	Bissulfito de sódio.....	13
Figura 5 –	Etanol.....	14
Figura 6 –	Isotermas de sorção típica de alimentos.....	19
Figura 7 –	Curva da taxa de secagem em função da umidade.....	22
Figura 8 –	Alterações durante a secagem.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Balanço mundial de maçãs em mil toneladas.....	04
Tabela 2 –	Produção brasileira de maçãs em toneladas.....	05
Tabela 3 –	Classificação MAPA de qualidade de maçãs.....	06
Tabela 4 –	Nutrientes contidos em 100 g de maçã.....	08
Tabela 5 –	Atividade de água mínima para crescimento de microrganismos.....	18
Tabela 6 –	Principais modelos matemáticos.....	26
Tabela 7 –	Tipos de secadores.....	28

LISTA DE SIGLAS

BET	Brunauer, Emmet e Teller
BL	Índice de escurecimento
GAB	Gugghenheim, Anderson e de Boer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OH	Hidroxila
PME	Pectinametilesterase
PPO	Polifenoxidase
SEAGRI	Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária
TPA	Perfil de Textura

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Coeficiente dos modelos matemáticos empíricos
a*	Vermelho versus verde
aw	Atividade de água
b	Coeficiente dos modelos matemáticos empíricos
b*	Amarelo versus azul
c	Coeficiente dos modelos matemáticos empíricos
Def	Coeficiente de difusão efetivo do líquido (m^2/s)
dX/dt	Taxa de secagem (kg/kg.s)
K	Cinética de secagem (s^{-1})
k_i	Parâmetro de ajuste
L	Espessura da camada (m)
L*	Luminosidade
MR	Adimensional de água livre
n	Coeficiente dos modelos matemáticos empíricos
R_p	Raio da partícula esférica ou cilíndrica (m)
t	Tempo de secagem (s)
t	tonelada
UR	Umidade percentual relativa do meio (%)
X	Umidade média do sólido no instante t ($kg_{\text{água}}/kg_{\text{sólido seco}}$)
X_e	Umidade de equilíbrio ($kg_{\text{água}}/kg_{\text{sólido seco}}$)
X_o	Umidade inicial do sólido ($kg_{\text{água}}/kg_{\text{sólido seco}}$)
X_m	Umidade da monocamada do material ($kg_{\text{água}}/kg_{\text{sólido seco}}$)
μ_n	Raízes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 HISTÓRICO DA MAÇÃ	2
2.2 MAÇÃ NO MERCADO	3
2.2.1 Mercado internacional	3
2.2.2 Mercado nacional	5
2.3 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA MAÇÃ	6
2.4 CONSTITUÍNTES	7
2.5 MAÇÃ DESIDRATADA.....	8
3 PRÉ-DESIDRATAÇÃO DE MAÇÃS	10
3.1 FUNCIONALIDADE DO PRÉ-TRATAMENTO DE MAÇÃS	10
3.2 PRÉ-TRATAMENTO COM ANTIOXIDANTES	11
3.3 PRÉ-TRATAMENTO COM ETANOL.....	13
3.4 BRANQUEAMENTO.....	14
3.5 PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO	15
4 SECAGEM.....	17
4.1 ATIVIDADE DE ÁGUA	17
4.1.1 Isotermas de sorção	19
4.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA	21
4.3 TAXA DE SECAGEM.....	22
4.4 CINÉTICA DE SECAGEM	24
4.5 SISTEMAS DE SECAGEM	27
4.6 AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DA SECAGEM.....	30
4.6.1 Principais alterações nas maçãs durante a secagem.....	30
4.6.2 Avaliação de cor.....	31
4.6.3 Avaliação da textura.....	32
4.6.4 Avaliação sensorial	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35
7. REFERÊNCIAS	36
8. ARTIGO	42

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais a população adota uma dieta saudável e se torna exigente quanto ao valor nutricional e sensorial dos alimentos adquiridos. Segundo Queiroga (2012) estes foram os principais motivos pelo aumento na procura de alimentos desidratados, que são uma opção mais saudável e prática para as refeições intermediárias. Devido ao alto teor de potássio e fibras, Córdova (2006) explica que a maçã é uma das frutas mais indicadas para a manutenção da saúde, pois atua na prevenção de doenças cardiovasculares e provoca sensação de saciedade, fator importante para redução do peso corporal.

De acordo com Wosiacki, Pholman e Nogueira (2004) o Brasil é um dos maiores produtores de maçãs do mundo, porém cerca de 30% da produção nacional é considerada desqualificada para o consumo *in natura* pelos padrões de exigência do mercado e com a crescente produção, é inevitável o aumento do desperdício. Segundo Duarte (2012), além de aproveitar as frutas que não poderiam ser utilizadas para o consumo *in natura*, a desidratação diminui as perdas de comercialização pela redução da quantidade de água disponível para reações químicas, crescimento de microrganismos e atividade enzimática. Com isso, as frutas na forma de passas têm maior vida de prateleira, maior facilidade de transporte, que não necessita ser refrigerado, e são mais compactas e resistentes.

Valente (2007) complementa ao afirmar que a secagem é uma das operações unitárias mais utilizadas nos processos industriais e é uma das operações menos entendidas em função dos fenômenos envolvidos na transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido durante o processo. Pelo exposto, as pesquisas com relação a conceitos e métodos de desidratação são necessárias para o desenvolvimento desta tecnologia visando melhor planejamento experimental e aperfeiçoamento das técnicas utilizadas.

Em face disso, o objetivo do presente trabalho foi apresentar uma revisão bibliográfica sobre a desidratação de maçãs. Como objetivos específicos foi realizado o estudo preliminar sobre maçãs, pré-tratamentos de desidratação, processo de secagem e parâmetros de maior importância para verificação da eficiência de processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

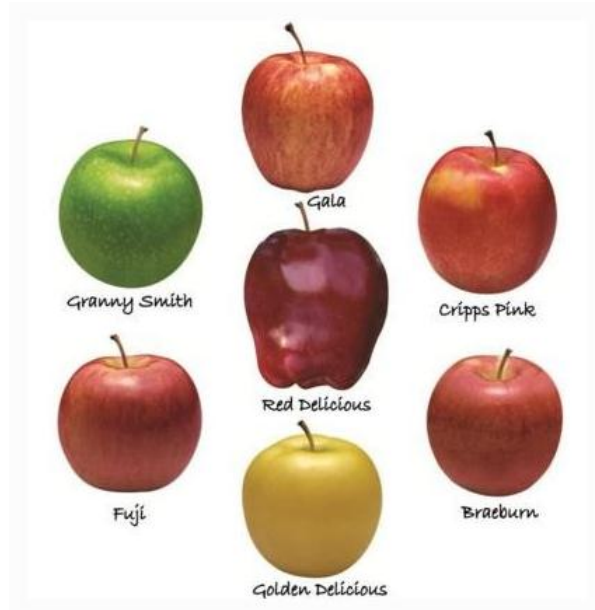
2.1 HISTÓRICO DA MAÇÃ

A maçã é uma das frutas mais antigas consumidas pela humanidade, mas sua história ao certo não é conhecida. Segundo Czelusniak *et al.* (2003) a maçã é originária da Ásia Central, mais precisamente da região do Sul do Cáucaso. Nesta região, foram encontradas sementes fossilizadas indiciando a existência do fruto desde o período pré-histórico. A maçã foi trazida para o Brasil em 1926 pelos Europeus para o interior de São Paulo e sul de Minas Gerais. Danesi *et al.* (2007) afirma que os primeiros grandes pomares de maçã foram implementados por empresários catarinenses, na cidade Fraiburgo, eles teriam importado mudas da França e assim iniciaram a produção brasileira.

Moura, S. *et al.* (2007) afirma que o cultivo em larga escala e com alto padrão tecnológico foi desenvolvido no Brasil há 30 anos. A tecnologia produtiva foi introduzida por produtores japoneses e europeus, que investiram num sistema de produção adequado ao solo e clima brasileiro. Com isso, a maçã brasileira adquiriu níveis de qualidade que a tornou competitiva frente ao mercado mundial.

De acordo com Wosiacki, Pholman e Nogueira (2004) são comercializados, no mundo, em torno de 7.500 espécies de maçãs, as principais variedades produzidas no Brasil são Gala, Fuji e *Golden Delicious* que representam 95% de toda a produção nacional. Seus baixos teores fenólicos e acidez total fazem com que estas variedades sejam classificadas como doces-amargas e por isso, precisam ser misturadas com outras variedades quando utilizadas para fabricação de sucos e outros derivados que exigem maior acidez da matéria prima. A Figura 1 mostra os principais tipos de maçãs comercializadas em nível mundial.

Figura 1 - Qualidades de maçãs de maior consumo mundial



Fonte: Veggie Wiz (2011)

2.2 MAÇÃ NO MERCADO

2.2.1 Mercado internacional

De acordo com o informativo 54 da Secretaria de Política Agrícola (2014) a produção mundial de maçãs aumentou em 28% nos últimos 6 anos. O maior produtor mundial é a China com 56% da produção mundial, seguida da União Europeia com 17% e Estados Unidos com 6%. A Tabela 1 resume o balanço mundial de produção, consumo, processamento, importação e exportação de maçãs de 2010 a 2013.

Tabela 1 - Balanço mundial de maçãs em mil toneladas

	2010/11	2011/12	2012/13
Produção Mundial	62.318	66.500	67.852
China	33.263	35.985	38.000
União Europeia	10.866	12.069	11.297
Estados Unidos	4.174	4.224	4.200
Outros	13.966	14.221	14.355
Consumo Mundial	49.523	54.221	55.151
China	26.520	30.647	32.240
União Europeia	7.456	7.687	7.112
Turquia	2.328	2.517	2.716
Outros	13.220	13.370	13.083
Utilizadas em Processamentos	12.468	11.751	12.047
China	5.760	4.400	4.760
União Europeia	2.973	3.396	3.435
Estados Unidos	1.318	1.377	1.300
Outros	2.418	2.578	2.553
Importações	4.816	4.890	5.114
Rússia	1.112	1.201	1.180
União Europeia	632	526	700
México	214	191	225
Outros	2.858	2.973	3.009
Exportações	5.113	5.378	5.707
União Europeia	1.089	1.513	1.450
China	1.057	1.012	1.065
Estados Unidos	826	841	875
Outros	773	744	807

Fonte: Secretaria de Política Agrícola (2013)

2.2.2 Mercado nacional

De acordo com IBGE (2013) o Brasil está classificado como o nono maior país produtor de maçãs, sendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul responsáveis por 96% da produção brasileira. Os dados da Seagri (2010) apontam que 15% da produção brasileira de maçãs Gala e Fuji são exportadas. Wosiacki, Pholman e Nogueira (2004) complementa explicando que os estados do sul do Brasil exportam sua produção principalmente para Holanda, competindo com Argentina e Nova Zelândia. De acordo com Assis (2013) a variedade Gala representa 46% do volume total de maçãs produzidas no Brasil, já a variedade Fuji abrange 45% da safra e a *Golden Delicious* está em 6% da produção e os outros 3% são compostos por outras variedades.

Chiarelli *et al.* (2011) afirma que nos anos 70 a produção brasileira de maçã era de apenas 1.528 t, nos anos 80 a produção aumentou em para 48.715 t e, no início da década de 90, já eram produzidas 33000 t, evoluindo para mais de 800.000 t nos anos 2000. No ano de 2010, o Brasil já era considerado o quinto lugar no quesito qualidade da produção e sétimo lugar com relação a infraestrutura disponível frente ao mercado mundial. A Tabela 2 apresenta a produção Brasileira em toneladas de maçãs de 2010 a 2013. Córdova (2006) conclui afirmando que a importância da produção de maçãs no Brasil, no ponto de vista econômico, está na geração de empregos, na redução de importação desta fruta e na geração de divisas pela exportação.

Tabela 2 – Produção brasileira de maçãs em toneladas

2010	2011	2012	2013
1.279.124	1.338.995	1.338.220	1.369.216

Fonte: IBGE (2013)

2.3 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA MAÇÃ

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) através da instrução normativa de número cinco de 9 de Fevereiro de 2006 definiu as características de identidade e qualidade para maçãs produzidas no Brasil e importadas. Esta instrução normativa classifica as maçãs de acordo com o calibre, que é o número de frutas contidas em uma embalagem e, de acordo com a qualidade, aloca-as em categorias. Na Tabela 3 estão os parâmetros de qualidade avaliados e as respectivas categorias.

Tabela 3 – Classificação MAPA de qualidade de maçãs

	Peso mínimo	Defeitos/fruta	Tolerância de quantidade fora dos parâmetros/embalagem
Extra	105 g	1	1%
Categoria 1	65 g	1-2	1%
Categoria 2	65 g	3	2%
Categoria 3	65 g	4	10%

Fonte: MAPA (2006)

Entre os defeitos físicos de qualidade regulamentados pelo MAPA, podemos destacar *Russeting* que ocorre quando a epiderme tem aspecto ferruginoso, áspero ou liso, sem brilho, que pode ser resultante da susceptibilidade da variedade, fatores climáticos ou provenientes da manipulação no pomar e o *Bitter Pit* que é um distúrbio fisiológico, caracterizado por manchas escuras, arredondadas e deprimidas, com encortiçamento superficial da polpa. Além destes, há outros defeitos físicos como: lesões, que são resultantes de ruptura da epiderme podendo variar sua severidade de leve a grave; manchas, que são ocasionadas por insetos, fungos, fatores climáticos ou fitotoxidades; e por fim danos físicos provenientes de geada que altera a textura da epiderme.

2.4 CONSTITUÍNTES

A Maçã pertence a família das Rosaceae, ao gênero *Malus* e é proveniente da árvore *Pyrus malus*. Córdova (2006) descreve a maçã como sendo um fruto de pele fina e impermeável, sabor agri-doce, ácido ou farináceo, dependendo da variedade, de polpa homogênea e sendo muito atrativa pelo seu visual, sabor e aroma. A maçã possui aproximadamente 85% de água em massa sofrendo grandes transformações bioquímicas durante sua maturação. Tosato (2012) explica que devido a continua produção do hormônio etileno, a maçã amadurece após sua colheita, sendo classificada como uma fruta climatérica. O aumento da taxa de etileno que ocorre com o aumento da taxa respiratória pós-colheita promovendo mudanças sensoriais, alterando aroma, cor e aumentando a perda de água e nutrientes.

De acordo com Duarte (2012) o segundo componente de quantidade expressiva contido na maçã é o carboidrato, sendo o açúcar presente em maior quantidade a frutose, seguido da glicose e sacarose. A maçã é constituída, aproximadamente, em 5% de frutose, 2,6% de glicose e 1,7% de sacarose.

Tosato (2012) complementa afirmando que a maçã também possui minerais e vitaminas, destacando a vitamina C. A fração fibrosa que é responsável pela retenção de água, é constituída por hemicelulose, celulose e substâncias pécticas. A pectina da maçã é utilizada em alimentos como gelificante, espessante, texturizante, emulsificante e estabilizante. A maçã possui baixos teores de proteínas e lipídios. O principal constituinte ácido é o ácido málico que junto com os açúcares, éteres e aldeídos são os responsáveis pelo aroma característico da maçã. A Tabela 4 aponta os nutrientes médios contidos em 100 g de maçã, estes valores variam de acordo com a qualidade e maturidade da fruta.

Cruz (2013) explica que a maçã é importante para a prevenção de doenças cardíacas, pulmonares, regula o excesso de colesterol no sangue e na indução a saciedade pela significativa quantidade de potássio e fibras que possui. Além disso, a maçã é rica em fitoquímicos como carotenóides, flavonóides, isoflavonóides e polifenóis que contribuem para a qualidade sensorial das frutas frescas e processadas. As propriedades antioxidantes da maçã estão relacionadas aos compostos fenólicos, como flavanóides, ácidos hidroxicinâmicos, flavanóis, dihidrocalconas e antocianinas, que possuem ligações duplas e grupos de hidroxilas e geram esta atividade antioxidante.

Tabela 4 - Nutrientes contidos em 100 g de maçã

	Nutriente	Unidades	Valor por 100 g de porção comestível (*)
Macro Componentes	Água	g	83
	Energia	Kcal	59
	Carboidratos	g	15
	Fibra dietética (total)	g	2
Minerais	Cálcio	mg	7
	Magnésio	mg	5
	Fósforo	mg	7
	Potássio	mg	115
Vitaminas	Vitamina C	mg	5
	Vitamina A	IU	53
	Vitamina A	mcg_RE	5

Fonte: ABPM (2014)

2.5 MAÇÃ DESIDRATADA

De acordo com Valente (2007) o Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo, porém devido a alta perecibilidade das frutas, ocorre perda pós-colheita, seja pela abundancia de colheita, pela distância do mercado consumidor ou pela ausência de tratamento e manuseio especializado. Em média 30% a 40% da produção é perdida neste processo.

Além desta perda pós-colheita, Wosiacki, Pholman e Nogueira (2004) afirma que cerca de 30% da produção nacional de maçãs são consideradas desqualificadas para o consumo *in natura* pelos padrões de exigência do mercado e com a crescente produção, é inevitável o aumento do desperdício. Os frutos que não são descartados são utilizados para a fabricação de doces, conservas, fatias desidratadas, sucos e fermentados, como a cidra e por isso, é possível notar o surgimento de novos produtos derivados de maçãs.

Moura, F. *et al.* (2012) comenta que entre os novos produtos que surgiram deste aumento da produção, podemos destacar as maçãs desidratadas que tem boa aceitação no

mercado, pelo pouco peso e volume, pela praticidade de consumo e de transporte e também como uma opção de lanche mais saudável pelos baixos teores de açúcares, gorduras e pela alta quantidade de nutrientes concentrados quando comparado com outros lanches como biscoitos. Cruz (2014) explica que, por outro lado, após a secagem, a maçã tem seu valor energético aumentado devido a concentração de açúcares, chegando a tornar-se cinco vezes mais calórica que a maçã consumida *in natura*.

Tosato (2012) complementa afirmando que a maçã desidratada pode ser consumida diretamente, mas é comumente encontrada em misturas como barrinhas de cereais, chás e em confeitarias, sendo a variedade Fuji a mais utilizada para estas finalidades. Para avaliar a maçã após o processo secagem, os atributos que devem ser analisados são cor, relação de açúcar e água e redução da atividade enzimática indesejável.

Em termos de processamento, Moura, S. *et al.* (2007) explica que a produção de maçãs desidratadas exige pouco investimento em equipamentos, permite que o produto seja armazenado em temperatura ambiente e também permite pequenas escalas de produção. Existem diversas formas de otimizar este processo, a principal delas é através do pré-tratamento das maçãs, que além de melhorar a qualidade do produto final, diminui o tempo de processamento, proporcionando maior economia de energia.

3 PRÉ-DESIDRATAÇÃO DE MAÇÃS

3.1 FUNCIONALIDADE DO PRÉ-TRATAMENTO DE MAÇÃS

Com a expansão do mercado de maçãs desidratadas surge o desafio de desenvolver tecnologias baratas e adequadas, que atendam as expectativas dos consumidores e produtores. De acordo com Oliveira *et al.* (2008) os atributos de maior importância para os consumidores são cor, textura e sabor. As maçãs são altamente atrativas pela sua coloração, por isso, a preservação dos pigmentos responsáveis por essa característica é de fundamental importância para a qualidade desses produtos.

De acordo com Tosato (2012) a reação de escurecimento é um dos fenômenos que podem ocorrer após o processamento de alimentos. Este escurecimento é proveniente das reações não enzimáticas, como a reação de Maillard que envolvem aminoácidos e açúcares redutores, a caramelização de açúcares, oxidação química e das reações enzimáticas. As maçãs possuem polifenóis e por isso são propícias ao escurecimento pela enzima polifenoloxidase (PPO).

Celestino (2010) explica que a enzima polifenoloxidase é ativada quando as partes internas dos vegetais são expostas ao oxigênio, ou seja, após o fatiamento do vegetal, além disto, as reações de escurecimento enzimático são favorecidas pelas altas temperaturas do processamento de secagem. Para evitar este tipo de escurecimento, não desejável, são utilizados tratamentos antes do processo de secagem.

Segundo Oliveira *et al.* (2008), o controle do escurecimento enzimático pode ser feito por meio de métodos físicos e químicos. Métodos físicos incluem redução de temperatura, que reduz a atividade enzimática, mas não a inativa, inativação térmica da enzima, proteção do produto contra oxigênio, desidratação, uso de atmosfera modificada, embalagens ativas e outros. Métodos químicos incluem o uso de compostos que inibem a ação da enzima. A inativação enzimática da PPO por aquecimento é possível aplicando temperaturas superiores a 50°C, mas altas temperaturas alteram a cor, flavour e textura, podendo ocasionar mudanças indesejáveis. Alguns químicos já testados com eficácia comprovada na inibição da PPO podem ser prejudiciais ao produto e ao consumidor, trazendo riscos toxicológicos e efeitos sensoriais negativos ao produto.

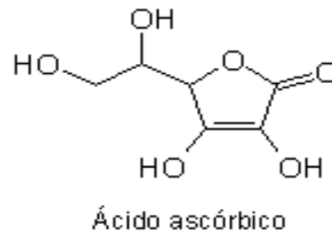
Cruz (2013) afirma que entre os principais objetivos da realização do pré-tratamento estão a alteração na cor do produto final, ganhos sensoriais, nutricionais e a redução do tempo de secagem. O menor tempo de secagem diminui a exposição das maçãs as altas temperaturas, e assim, o aumenta da eficiência do processo. A escolha do melhor pré-tratamento de secagem está relacionada com o tipo de alimento a ser seco, utilização final do alimento e disponibilidade.

3.2 PRÉ-TRATAMENTO COM ANTIOXIDANTES

De acordo com Cruz (2013) os ácidos mais utilizados como pré-tratamento de maçãs são o ácido ascórbico (vitamina C) e o ácido cítrico, que podem ser combinados ou utilizados individualmente, o ácido ascórbico ainda pode ser combinado com água. Este tipo de pré-tratamento é escolhido por dois motivos principais, o primeiro, por inibir o escurecimento enzimático e o segundo, por manter os níveis de ácido ascórbicos que são perdidos no processo de secagem devido às altas temperaturas.

De acordo com Pereira, V. (2008), o ácido ascórbico é um sólido branco ou amarelado, cristalino com ponto de fusão de 190 a 192 °C, massa molecular 176,13 g/mol, densidade 1,65 g/cm³, solúvel em água e etanol, insolúvel nos solventes orgânicos comuns. No estado sólido é relativamente estável, porém quando em solução, é facilmente oxidado. O ácido ascórbico sintético é produzido a partir de um açúcar natural, que pode ser uma dextrose, glicose, açúcar de mel ou açúcar de milho. Este açúcar de fórmula química C₆H₁₂O₆ se converte em L-ácido ascórbico (C₆H₈O₆) por reação de oxidação onde quatro átomos de hidrogênio são removidos para formar duas moléculas de água. O ácido ascórbico atua como um antioxidante, por estar disponível para uma oxidação energeticamente favorável, ao ser facilmente oxidado pelo ar, sofre a oxidação em preferência ao alimento, preservando a sua qualidade. Cardoso *et al.* (2007) cita entre as vantagens de utilização do ácido ascórbico sua atuação como quelante de enzimas oxidativas, seu consumo ser seguro para humanos, o aumento do teor de vitamina C no produto final e o fato de ser um composto barato.

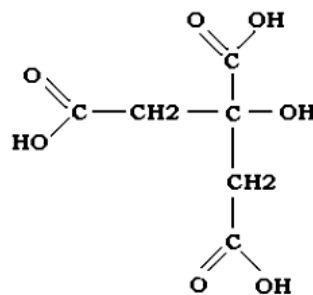
Figura 2 - Ácido ascórbico (Vitamina C)



Fonte: Pereira, V. (2008)

Segundo a revista Food Ingredients Brasil (2014) o ácido cítrico também é conhecido como citrato de hidrogênio e utilizado na indústria de alimentos como regulador de acidez, flavorizante e antioxidante. O ácido cítrico é um sólido branco e cristalino, com ponto de fusão de 153 °C, massa molecular 192,12 g/mol, densidade 1,66 g/cm³ e fórmula molecular C₆H₈O₇. O ácido cítrico é obtido sinteticamente por fermentação, existem três processos principais, Koji, onde o substrato é sólido e é obtido por *Aspergillus niger*, fermentação em superfície, onde o fungo cresce sobre a superfície do meio de cultura estático e fermentação por cultura submersa, onde o fungo se desenvolve imerso em meio de cultura líquido sob agitação. De acordo com Cardoso *et al.* (2007) o ácido cítrico previne o escurecimento enzimático pela ação sobre a polifenoloxidasas e peroxidases. É comumente utilizado em conjunto com o ácido ascórbico ou sulfito de sódio para inibir a alteração de cor em processos de secagem de maçãs.

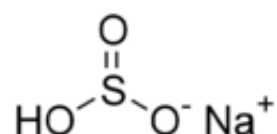
Figura 3 - Ácido cítrico



Fonte: Rocha e Muccillo (2001)

Outros agentes antioxidantes comumente utilizados como pré-tratamento na secagem de maçãs são os sulfitos. Neves (2007) afirma que o bissulfito de sódio é utilizado para inibir o escurecimento enzimático, microbiológico e também é utilizado como conservante de alimentos. A imersão do alimento fatiado em soluções com sulfitos ou metabissulfitos, associado ou não a ácido cítrico, controla efetivamente o escurecimento. Segundo Cardoso *et al.* (2007) os sulfitos reagem com os intermediários carbonílicos que são formados durante o processo de escurecimento não enzimático e bloqueiam a formação de pigmentos marrons. No escurecimento enzimático, os sulfitos inibem a PPO. Sanquetta (2012) comenta que o bissulfito de sódio é utilizado industrialmente em solução ou na forma sólida. O sólido é anidro e o reagente puro tem fórmula NaHSO_3 . O produto comercial é constituído, em geral, quase inteiramente pelo $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (pirossulfito de sódio), ou metabissulfito de sódio, que é derivado desidratado de duas moléculas do bissulfito.

Figura 4 - Bissulfito de sódio

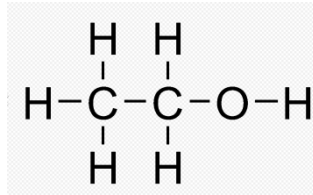


Fonte: Neves (2007)

3.3 PRÉ-TRATAMENTO COM ETANOL

Pereira e Fontes (1998) define etanol como um líquido incolor, cuja fórmula molecular é $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, com peso molecular 46,07 g/mol e amplamente utilizado como solvente, germicida, anticongelante, combustível, depressivo, componente de bebidas e como intermediário químico para outros produtos. Suas propriedades físicas e químicas dependem do grupo hidroxila, -OH, parte polar da molécula e das interações intermoleculares das ligações de hidrogênio. Essas duas características ocasionam as diferenças entre os álcoois de baixo peso molecular, como o metanol e o etanol, e os respectivos hidrocarbonetos. A obtenção industrial de etanol ocorre principalmente por fermentação do açúcar, amido ou celulose.

Figura 5- Etanol



Fonte: Pereira e Fontes (1998)

De acordo com Tosato (2012) o etanol desnatura proteínas da maçã, incluindo enzimas, inibindo a ação da Pectinametilesterase (PME), criando uma rede de ligações cruzadas de pectina sobre a parede celular. A utilização de etanol em alimentos também está ligada a armazenagem de produtos preservando as propriedades originais, a diminuição da degradação da cor após a secagem e a diminuição do encolhimento longitudinal.

Braga (2007) complementa afirmando que em secagens com atmosfera modificada, o etanol é comumente utilizado, pois eleva as taxas de secagem, diminuindo o tempo de processo. O álcool condensa na superfície da amostra e diminui a perda de voláteis retendo maior parte dos aromas, ou seja, diminui a perda de álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos, ésteres, compostos sulfúricos, fenóis e furanos.

3.4 BRANQUEAMENTO

De acordo com Sanquetta (2012), o branqueamento é aplicado geralmente em vegetais antes de processos como congelamento, desidratação e enlatamento. Quando utilizado antes da secagem, tem como objetivo inativar enzimas para evitar o escurecimento dos vegetais.

Celestino (2010) explica que o branqueamento consiste em aquecer os vegetais por, em média, 5 minutos, em água em ebulição, ou com temperatura em torno de 90°C. Por utilizar temperaturas elevadas, compostos solúveis têm perdas, por isso, pode-se utilizar vapor ao invés de água em ebulição, e assim, reduzir estas perdas. O branqueamento cozinha o tecido dos vegetais, o que pode ocasionar sabor desagradável, mas isto também torna as membranas mais permeáveis e acelera o processo de secagem.

Queiroga (2012) comenta que mesmo com estas perdas, o branqueamento causa menos danos que outros processos térmicos como a esterilização por calor. A combinação tempo temperatura utilizada no branqueamento assegura a inativação enzimática adequada, previne amolecimento e perda de sabor excessivo no alimento.

3.5 PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO

Além dos pré-tratamentos citados anteriormente, uma pré-desidratação pode ser realizada, visando otimizar o processo de secagem pela redução do tempo e aumento de qualidade do produto final. Queiroga (2012) explica que a desidratação osmótica consiste na remoção de água dos alimentos, por imersão destes em uma solução hipertônica de um ou mais solutos, como sacarose, sorbitol, sal, glicerol, entre outros, por certo tempo a certa temperatura. A solução possui alta pressão osmótica e uma baixa atividade de água fazendo com que o alimento perca água para o meio. A estrutura da célula se comporta como uma membrana semipermeável, havendo troca de soluto do meio para o alimento, assim como do alimento para o meio.

Segundo Dionello et al. (2007) para um soluto ser usado como agente osmótico é necessário apresentar alta solubilidade em água, baixo custo e efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e a estabilidade final do produto. O tipo de açúcar utilizado como substância osmótica afeta a cinética de remoção de água, o ganho de sólidos e o teor de água de equilíbrio. A sacarose possui elevada massa molecular, o que implica em um menor ganho de sólidos e no aumento da perda de água, o que favorece a perda de massa, ou seja, facilita a desidratação. A glicose, a frutose e o sorbitol, tem baixa massa molecular e pela alta velocidade de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, aumenta o ganho de sólidos e reduz a perda de água, o que desfavorece a desidratação.

Córdova (2006) complementa explicando que a alta concentração de açúcares em contato com as maçãs previne o possível escurecimento enzimático e a fermentação causada por fungos e leveduras, sendo possível a obtenção de um produto final com coloração clara. Quanto menor o índice de ganho de sólidos num processo de desidratação osmótica melhor é o resultado em termos de cor, textura e sabor do produto final, pois não se altera em demasia o sabor da fruta *in natura*. Além disso, quanto maior a perda de água, menor sua atividade de

água e maior a sua vida de prateleira, além da redução de possíveis contaminações microbiológicas.

Chiarelli et al. (2011) afirma que produtos com pré-secagem osmóticos apresentam boa estabilidade microbiológica por até 180 dias e com boa aceitabilidade pelos consumidores durante todo período de armazenamento. A pré-secagem osmótica é utilizada principalmente antes da secagem com ar convectivo, microondas e liofilização com a finalidade de melhorar a qualidade do produto final, reduzir custos de energia ou ainda formular novos produtos.

Com relação aos parâmetros de processo, Valente (2007) explica que o tempo de desidratação osmótica está ligado a temperatura. Com temperaturas maiores, é observada a diminuição do tempo de secagem, entretanto, temperaturas muito elevadas podem ocasionar danos às maçãs. Ao utilizar temperaturas acima de 45°C, por exemplo, pode ocorrer escurecimento enzimático, ou, aumento significativo de soluto na fruta, ou ainda, volatilização de *flavours*, fenômenos não desejados. Tempos longos de pré-tratamento osmótico, também não são desejáveis, visto que podem danificar a estrutura celular da maçã, que perde sua seletividade, favorecendo a incorporação excessiva de sólidos. Nas primeiras 2 h é observada a maior taxa de transferência de massa. Outro fator importante é a concentração da solução, quando superior a 40%, há predomínio da saída de água do alimento, porém quando essa diferença é menor que 40%, ocorre o processo inverso, ou seja, predomina o ganho de solutos.

Outro parâmetro que determinará a perda ou ganho de sólidos pelo alimento é o tecido vegetal. Fernandes (2012) explica que a própria característica do tecido vegetal como compactação, massa inicial de substâncias não solúveis, enzimas presentes no produto, tamanho dos espaços intercelulares, presença de gás retido nos capilares, grau de gelificação determinarão a cinética do processo.

4 SECAGEM

4.1 ATIVIDADE DE ÁGUA

De acordo com Tosato (2012) a importância da água nos alimentos está na quantidade de reações químicas e bioquímicas que esta favorece ao auxiliar na movimentação das moléculas e estrutura celular. Além disso, a água determina as características físicas e a preservação dos alimentos.

Segundo Park *et al.* (2007) para escolher o processo de secagem que é mais adequado ao sólido que estamos querendo retirar umidade, as características físicas são levadas em consideração. Materiais biológicos como os alimentos possuem duas classificações: porosos higroscópicos e materiais coloidais. A primeira classificação diz respeito ao comportamento do material perante a água, este pode se comportar de maneira hidrofílica, tendo afinidade com água ou hidrofóbica não tendo afinidade com água e sendo mais fácil de secar. A segunda classificação está relacionada com as propriedades termodinâmicas e físico-químicas das ligações das moléculas de água com estruturas como carboidratos, proteínas, substâncias coloidais. Água não ligada, ou água livre precisa de menor energia para ser vaporizada, logo materiais hidrofóbicos possuem água livre.

Celestino (2010) explica que a quantidade total de água de um alimento é a soma da quantidade de água ligada e livre que este possui e é a água livre, ou não ligada, que determina a atividade de água dos alimentos. A água livre está localizada nos espaços intragranulares dos alimentos, funciona como solvente dos compostos cristalinos e dispersa substâncias coloidais. Fennema (1993) define a atividade de água pela relação entre a pressão parcial de vapor de água no alimento (P_1) e a pressão parcial de vapor da água pura (P_2), à mesma temperatura, que também é equivalente a umidade percentual relativa do meio (UR). Através da lei de Raoult para soluções ideais, tem-se que:

$$a_w = \frac{P_1}{P_2} = \frac{UR}{100} \quad (1)$$

De acordo com Duarte (2012) o valor de atividade de água está compreendido entre 0 e 1. Quanto mais baixo este valor, maiores as forças de união físico-química, por outro lado, quanto mais próximo de 1, mais livre encontra-se a água. Como os constituintes sólidos dos alimentos fixam parcialmente a água, o valor de atividade de água sempre será menor do que 1.

Cruz (2013) explica que alimentos ricos em água tem maior propensão a contaminação microbiana. Com valor de a_w menor que 0,7 a maioria dos fungos não apresenta atividade, mas algumas leveduras conseguem crescer, mesmo que lentamente, em a_w entre 0,62 e 0,70. Com a a_w na faixa de 0,4 a 0,8 os reagentes estão concentrados de forma que as reações químicas e enzimáticas são favorecidas. Se a atividade de água for menor que 0,3, atinge-se a zona de absorção primária, em que as moléculas de água estão fortemente ligadas impossibilitando reações e desenvolvimento de microrganismos. As frutas secas possuem atividade de água entre 0,6 e 0,85, o que faz com que a oxidação lipídica seja o principal responsável pela deterioração destes alimentos, porém se a atividade de água for menor que 0,5 ocorre uma maior proteção dos lipídios e prevalece a conservação do valor nutricional do alimento. A Tabela 5 mostra a atividade de água mínima para crescimento dos microrganismos.

Tabela 5 - Atividade de água mínima para crescimento de microrganismos

Microrganismo	Atividade de água mínima para crescimento
Bactérias	0,9
Leveduras	0,8
Fungos	0,7

Fonte: Duarte (2012)

Tosato (2012) conclui que a importância da atividade de água está relacionada com a estabilidade de um alimento, visto que determina o potencial de crescimento e atividade metabólica de microrganismos, taxa de oxidação, escurecimento enzimático e outras reações enzimáticas. A secagem busca reduzir a atividade de água dos alimentos e por consequência estas reações que diminuem sua qualidade e sua vida de prateleira.

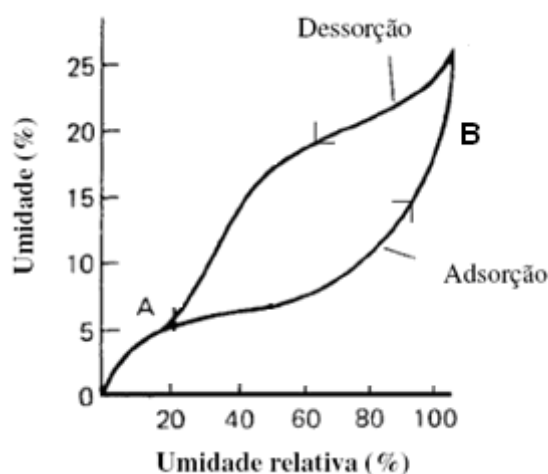
4.1.1 Isotermas de sorção

De acordo com Celestino (2007) quando a pressão parcial de vapor de água sobre o alimento é igual à pressão parcial dentro do alimento, o equilíbrio foi atingido e o valor da umidade relativa do ar e da atividade de água do alimento é o mesmo. Fennema (1993) explica que as isotermas de sorção são curvas que descrevem esta relação entre a umidade relativa do ar ou atividade de água do alimento e a umidade do alimento em equilíbrio com o meio. As isotermas podem mostrar a perda, dessorção, ou o acréscimo, adsorção, da umidade no alimento em relação ao meio em que este se situa.

Sanquetta (2012) complementa afirmando que a isoterma de sorção indica a atividade de água em que um alimento é estável e permite previsões sobre o efeito das alterações no seu conteúdo de umidade, fornecendo informações para processos de concentração, secagem e hidratação de alimentos. Sua utilização está relacionada com a determinação da taxa e da extensão da secagem e reidratação, as temperaturas ótimas de congelamento e armazenamento e as propriedades, bem como a qualidade final e estabilidade do produto.

Bobbio & Bobbio (2001) explica através das isotermas teóricas mostradas na Figura 6 que para cada valor de umidade relativa, ou atividade de água, entre os pontos A e B, há dois teores de água no alimento. O maior valor representa a fase de secagem e o menor valor à fase de hidratação. A diferença entre os dois processos denomina-se histerese e está ligada à existência da monocamada.

Figura 6 - Isotermas de sorção típica de alimentos



Fonte: Fennema (1993)

Segundo Silva, Park e Magalhães (2007) diversos autores propuseram modelos teóricos, empíricos e semi-empíricos de ajuste de isothermas de sorção com o intuito de prever seu comportamento. Os modelos teóricos são baseados nas teorias cinéticas de adsorção de Kelvin e Langmuir. Entre os modelos mais citados na literatura, estão os modelos propostos por Brunauer, Emmet e Teller (BET) e Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB). O modelo BET acrescenta considerações da natureza química da umidade ao modelo proposto por Langmuir e está apresentado na Equação (02) e o modelo GAB estende a teoria de adsorção física de BET, resultando numa equação tripamétrica, que permitiu melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até a atividade de água de 0,9 e está apresentado na Equação (03):

$$X_e = \frac{X_m a_1 a_w}{(1 - a_w) (1 - a_w + a_1 a_w)} \quad (02)$$

$$X_e = \frac{X_m a_2 k_i a_w}{(1 - k_i a_w) (1 - k_i a_w + a_2 k_i a_w)} \quad (03)$$

Sendo:

X_e é a umidade de equilíbrio do material ($\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{sólido seco}}^{-1}$);

X_m a umidade da monocamada do material ($\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}_{\text{sólido seco}}^{-1}$);

a_w é a atividade de água;

a_1 e k_i são parâmetros de ajuste.

4.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA

Segundo McCormick *et al.* (1983) a secagem é normalmente considerada um processo de remoção de umidade de um sólido por evaporação. Sampaio (2003) explica que a secagem ocorre por transferência de calor e massa. Quando o calor é fornecido pelo ar, este provoca uma diferença entre a pressão parcial de vapor de água do ar e do produto, isto ocasiona a transferência de água para a parte externa do alimento por condução. O processo de secagem envolve três meios principais de transferência de calor: convecção, condução e radiação.

Segundo Park *et al.* (2007) na secagem por convecção o ar pré aquecido passa sob o alimento, vaporiza a água deste e a transporta para fora do secador, para que haja economia de energia o ar pode ser recirculado. As principais condições a serem controladas são temperatura e umidade do ar aquecido. Na secagem por condução o calor é fornecido por uma superfície aquecida que suportam (bandeja) ou confinam o alimento (placas, cilindros, paredes de secadores), por isto é indicada para alimentos muito finos ou muito úmidos. Na transferência de calor por radiação a energia térmica é trocada por fonte eletromagnética, onde lâmpadas de quartzo são geralmente empregadas como fonte de radiação infravermelha.

Machado (2009) complementa acrescentando a secagem dielétrica, onde o alimento é desidratado ao ser colocado em um campo eletromagnético, cuja frequência é muito alta e varia rapidamente de direção causando mudança na orientação dos dipolos de líquidos dielétricos ou polares, gerando energia pela fricção molecular. A maior desvantagem desta técnica é o alto custo para a empresa. Outro modo de secar alimentos é através da liofilização. O alimento é inserido em uma câmara de secagem onde a pressão é abaixo do ponto tríplice da água, que desidrata o alimento ao sublimar a água congelada contida neste. Este método é utilizado principalmente quando o alimento a ser seco não pode ser aquecido, sendo menos agressivo e agregando maior qualidade, porém é a técnica mais inviável economicamente.

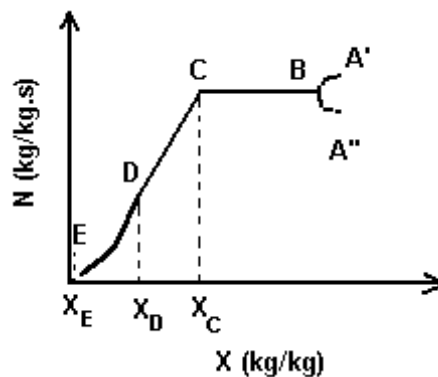
Para secagem de maçãs, Cruz (2013) afirma que a radiação é utilizada pela elevada penetração das ondas não só na superfície, mas também no interior das maçãs, fazendo com que a secagem por este processo seja mais rápida, além disto, o calor é gerado na parte do alimento que está úmida e não nas partes secas, assim, não há efeitos negativos em função do calor. Por outro lado, esta secagem nem sempre é uniforme, necessitando de constante mudança de posição da maçã dentro do secador e por este método, a temperatura não pode ser controlada, assim, não há uniformidade entre os produtos finais, o que torna este processo

limitado quando comparado ao processo convectivo. Sampaio (2003) complementa ao comparar a desidratação de maçãs por liofilização e por convecção e afirma que a secagem convectiva é um sistema mais simples e de menor custo, sendo mais viável para indústria de alimentos.

4.3 TAXA DE SECAGEM

De acordo com Valente (2007) a taxa da remoção de água como vapor na superfície do alimento depende da temperatura, umidade, fluxo do ar e pressão, que são condições externas. A taxa de migração de umidade no interior do alimento para a superfície depende da natureza estrutural do alimento, da temperatura interna e de sua umidade. Duarte (2012) afirma que a maioria dos estudos de secagem consistem na análise da interferência da velocidade, temperatura e umidade do ar na velocidade de secagem. Segundo McCormick *et al.* (1983) a secagem pode ser dividida em dois períodos, o período de taxa de secagem constante e período de taxa de secagem decrescente, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Curva da taxa de secagem em função da umidade



Fonte: FOUST *et al.* (1983)

O segmento A''- B, apresentado na Figura 7, representa o intervalo de aquecimento, onde o sólido se encontra com uma temperatura inferior ao ar de secagem. O segmento A'-B representa o intervalo de resfriamento do material, onde o sólido apresenta temperatura superior ao ar de secagem.

O segmento B-C representa o período de taxa de secagem constante, Cordova (2007) explica que a taxa de velocidade de secagem é constante pela equivalência entre a taxa de transferência de calor e taxa de transferência de massa. Enquanto houver água na superfície do alimento que acompanhe a evaporação, a taxa de secagem será constante. Segundo Geankoplis (1993), a superfície do material possui um nível de umidade tal que a secagem ocorre como se fosse água pura evaporando. Se o sólido for poroso, a maior parte da água evaporada é proveniente do interior do sólido. Chirife (1983) afirma que este período só tem importância se o teor de umidade inicial do sólido for alto ou o potencial do ar de secagem baixo. O fim deste período, dá-se quando a migração de água para superfície não acompanha a taxa de evaporação de água da superfície.

O segmento C-E representa o período de taxa decrescente de secagem, Cordova (2007) explica que a taxa de transferência de calor não é compensada pela taxa de transferência de massa devido à redução da migração de umidade do interior do alimento para sua superfície. A temperatura do alimento aumenta atingindo a temperatura do ar de secagem e quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado. Este período é quase sempre o único observado na secagem de alimentos e é a migração interna de água que determina a taxa de secagem. Esse período pode ser dividido em duas fases distintas:

- Segmento C-D, coeficiente de difusão constante: o movimento de água do interior para a superfície ocorre por capilaridade que controla a velocidade de secagem;
- Segmento C-E, coeficiente de difusão reduzido: o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados devido à entrada de ar para o interior do produto formando bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida, no interior dos poros. Chirife (1983) explica que nesta fase toda evaporação ocorre no interior do sólido, pois a superfície está insaturada. Na desidratação de alimentos com baixos teores de umidade, este período determina o tempo de secagem global.

No ponto E é alcançada a condição de equilíbrio entre a umidade do material e a umidade relativa do ar de secagem.

4.4 CINÉTICA DE SECAGEM

De acordo com Mayta, Massarani e Pinto (1996) diferentes teorias buscam explicar a cinética de secagem para descrever a transferência de umidade do interior do sólido para superfície e posterior evaporação, sendo o principal objetivo projetar ou controlar a implementação de sistemas de secagem. Existem dois tipos de modelos matemáticos que explicam a cinética de secagem, os modelos convectivos e os modelos difusivos. Estes modelos foram desenvolvidos a partir da análise do comportamento de secagem de uma única partícula e geralmente considerando todos os parâmetros de transporte constantes.

Sherwood (1939) explica que a difusão interna de líquido predomina nos mecanismos internos de transferência de umidade. A maioria dos modelos deriva do modelo de difusão da 2ª Lei de Fick para diferentes geometrias.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_e \nabla^2 X \quad (04)$$

A Equação (04) pode ser resolvida para diversas geometrias, Crank (1975) solucionou para a geometria plana, cilíndrica e esférica, considerando que no início do processo, todos os átomos do soluto estão uniformemente distribuídos, mantendo uma concentração " X_0 ", que na superfície para $t > 0$ a concentração é igual à concentração de equilíbrio e que o coeficiente de difusão permanece constante. As soluções analíticas para as três geometrias citadas podem ser obtidas por integração para mostrar variação da concentração com o tempo, conforme mostram as Equações (05), (06), (07).

- Placa Plana

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{L^2} \right) \right] \quad (05)$$

- Cilindro infinito

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} \exp \left[- \left(\frac{\mu_n^2 D_{ef} t}{R_p^2} \right) \right] \quad (06)$$

- Esfera

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[- \left(\frac{n\pi^2 D_{ef} t}{R_p^2} \right) \right] \quad (07)$$

Sendo:

Def é o coeficiente de difusão efetivo do líquido (m²/s);

X é a umidade média do sólido no instante t, em base seca (kg_{água}/kg_{sólido seco});

X₀ é a umidade inicial do sólido, em base seca (kg_{água}/kg_{sólido seco});

X_e é a umidade de equilíbrio do sólido, em base seca (kg_{água}/kg_{sólido seco});

L é a espessura da camada (m);

R_p é o raio da partícula esférica ou cilíndrica (m);

μ_n são as raízes.

O valor do coeficiente de difusão efetiva, D_{ef}, permite um estudo quantitativo das características de secagem em relação às variáveis experimentais controladas como a temperatura. De acordo com Valente (2012) modelos empíricos são uma expressão da Lei de Resfriamento de Newton aplicada a transferência de massa durante a secagem assumindo que as condições de secagem são isotérmicas e se restringem apenas a superfície do produto, por isto chamada de modelo semi-empírico. O modelo exponencial proposto por Lewis, mostrado na Equação (08) leva em consideração o período de secagem decrescente (segunda fase), onde a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre:

$$\frac{dX}{dt} = -K(X - X_e) \quad (08)$$

Sendo:

dX/dt é a taxa de secagem (kg/kg.s)

K é a cinética de secagem (s^{-1})

X é o teor de umidade em qualquer tempo (kgágua/kg sólido seco);

X_e é o teor de umidade na condição de equilíbrio (kgágua/kg sólido seco);

De acordo com Machado (2009) ao se desconsiderar os efeitos no interior do material, a equação de Lewis considera que a resistência ao transporte de umidade encontra-se na camada limite, por isso, a Equação (08) é comumente utilizada na forma integrada. Ao integrar esta equação, diversos modelos exponenciais são criados, a Tabela 6 mostra os modelos que são os mais utilizados.

Tabela 6- Principais modelos matemáticos

Modelo Matemático	Equação Correspondente	
Modelo de Lewis	$MR = \exp(-k_o.t)$	(09)
Modelo de Henderson e Pabis	$MR = a.\exp(-k_o.t)$	(10)
Modelo de Henderson e Pabis Modificado	$MR = a.\exp(-k_o.t) + b.\exp(-k_1.t) + c.\exp(-k_2.t)$	(11)
Modelo de Dois Termos	$MR = a.\exp(-k_o.t) + b.\exp(-k_1.t)$	(12)
Modelo de Page	$MR = \exp(-k.t^n)$	(13)
Modelo de Page Modificado	$MR = \exp[-(k_o.t)^n]$	(14)
Modelo de Midilli	$MR = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(15)

Fonte: Machado (2009)

Sendo:

k , k_0 , k_1 e k_2 são coeficientes de secagem;

a , b , c , n são constantes dos modelos;

t é o tempo de secagem (s).

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (16)$$

Sendo:

MR é a adimensional de água livre;

X é o teor de umidade em qualquer tempo (kgágua/kg sólido seco);

X_e é o teor de umidade na condição de equilíbrio (kgágua/kg sólido seco);

X_0 é o teor inicial de umidade (kgágua/kg sólido seco).

4.5 SISTEMAS DE SECAGEM

Existem dois sistemas de secagem, o natural e o artificial. A secagem natural, de acordo com Moraes (2006), é a exposição do alimento ao sol e em galpões abertos. É um método comum em pequenas propriedades rurais, principalmente quando o alimento a ser seco são grãos. A desvantagem da secagem ao natural é a lentidão e a necessidade de grandes áreas para sua execução. É imprescindível a condição climática da região ser favorável para este tipo de secagem. A secagem artificial, por outro lado, utiliza de uma grande variedade de equipamentos, onde é possível controlar a umidade, temperatura e a corrente de ar. São métodos mais rápidos, que não exigem uma área grande, mas também são mais caros e exigem mão de obra especializada.

Duarte (2012) explica que as frutas possuem alto conteúdo de umidade, sensibilidade a altas temperaturas, elevada suscetibilidade a microrganismos e isto deve ser levado em consideração ao selecionar o secador a ser utilizado. As frutas podem ser secas inteiras, em fatias ou na forma de purê. Segundo Valente (2007) o processo de secagem consome até 10% da energia total usada no setor industrial de alimentos, mas a escolha do secador é direcionada

pelas características desejadas no produto final. Atualmente existem mais de duzentos tipos diferentes de secadores, porém cerca de vinte tipos básicos são comumente usados, sendo os principais citados pela Tabela 7. Esta grande variedade ocorre devido à variedade de formas físicas dos alimentos a serem desidratados, à taxa de produção desejada e a característica dos produtos finais.

Tabela 7 - Tipos de secadores

Tipo de Secador	Funcionalidade
<p>Secador de Bandejas ou Secador de Cabine</p>	<p>O alimento é disposto em bandejas e submetido a uma corrente de ar aquecido. A principal desvantagem é que muitas vezes a distribuição do ar não é uniforme o que pode ocasionar uma secagem desuniforme, para evitar este defeito, é necessário trocar as bandejas de posição diversas vezes. Este é o tipo de secador mais utilizado na desidratação de maçãs.</p>
<p>Secador de Túnel</p>	<p>Possuem grande capacidade de produção e são utilizados de maneira subcontínua principalmente para secar frutas e hortaliças. Constitui de um túnel de aproximadamente 10 a 15 metros, por onde passam bandejas com os alimentos a serem desidratados e uma corrente de ar natural ou forçada com fluxo paralelo, contracorrente ou combinado. O secador com ar em fluxo paralelo possui a desvantagem de na saída do túnel o ar estar mais frio e úmido, o que reduz a taxa de secagem. Por outro lado, no secador com ar em fluxo em contra corrente, este fenômeno acontece no início do processo, mas isso faz com que o alimento seja seco de maneira mais uniforme, visto que a taxa de secagem vai aumentando ao longo do túnel.</p>

 Continuação Tabela 7- Tipos de secadores

Leito Fluidizado ou Leito de Jorro	É apropriado para produtos que possuem partículas sólidas e fluidas, como alimentos granulares, pastas e suspensões. A secagem ocorre através do contato entre o fluido e as partículas grandes que possuem fluidização de qualidade inferior.
Spray Dryer ou Atomizador ou Secador por Aspersão	É bastante utilizado na secagem de alimentos líquidos, como café solúvel, leite ou alimentos pastosos em suspensão. O processo consiste em atomizar o alimento em uma câmara de secagem pelo contato com ar quente a 200°C, em alta velocidade, durante 20 a 30 segundos. A rápida evaporação da água mantém as partículas a baixas temperaturas e estas são suspensas e coletadas para virar um produto instantâneo ou aglomerado. Entre as desvantagens deste tipo de secador, podemos citar a limitada taxa de secagem pela difusividade da água, baixa reidratação do produto final, escurecimento não enzimático, perda de aroma, oxidação de lipídios, pigmentos, vitaminas lipossolúveis.
Forno Secador	É constituído de dois pisos, o alimento é colocado no piso superior recebendo o calor gerado no piso inferior. O ar passa pelo produto por uma corrente natural ou forçada por meio de um soprador ou ventilador. Este tipo de secador é muito utilizado para secar maçãs, lúpulo, malte, batatas e tem como desvantagem um longo tempo de secagem.
Secador de Tambor ou Rolo Secador	É um secador por contato, constituído por um ou mais tambores que possuem seu interior aquecido por vapor e alta pressão. As temperaturas internas variam de 120°C a 150°C e o tempo de permanência dos alimentos no tambor varia de 20 segundos a 3 minutos. É utilizado principalmente em produtos com alto teor de amido ou alta viscosidade.

 Fonte: Machado (2009)

4.6 AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DA SECAGEM

4.6.1 Principais alterações nas maçãs durante a secagem

De acordo com Tosato (2012) durante a secagem de maçãs são observadas diminuições em seu volume e área superficial. As transformações físicas e químicas são decorrentes do gradiente de temperaturas, concentração, contato com o oxigênio e do aumento da concentração de solutos. Além disso, a secagem altera a cristalinidade da parede celular, aglutinação das microfibrilas, divisão da lamela média, perda da funcionalidade da membrana plasmática com o turgor, encolhimento do tecido, gelatinização do amido e redistribuição dos lipídios. As principais alterações que ocorrem nas maçãs durante a desidratação estão resumidas na Figura 8.

Celestino (2010) comenta que na desidratação o açúcar natural da maçã se concentra pela retirada de água, fazendo com que seu sabor e cor se acentuem, por isso, a quantidade de açúcar natural da fruta é importante para o sabor final do produto. Frutas com pouco açúcar fornecem produtos menos saborosos e frutas maduras fornecem produtos escuros devido à produção de malanoidinas pela exposição ao ar quente de secagem.

Tabela 8- Alterações durante a secagem

FÍSICA	QUÍMICA	BIOQUÍMICA
- Encolhimento	- Diminuição e perda de atividade de reagentes	- Decomposição de microrganismos e biomoléculas
- Perda de elasticidade	- Quebra de componentes químicos	- Oxidação de lipídeos
- Alteração na forma e tamanho (fraturas, enrugamento, poros)		- Desnaturação de proteínas
- Cristalização ou mudança na estrutura cristalina		- Escurecimento enzimático
- Perda de solubilidade		- Reação de Maillard
- Reidratação limitada		- Oxidação ou inativação de vitaminas
- Perda de aromas		

Fonte: Corrêa (2013)

4.6.2 Avaliação de cor

A cor é um atributo importante na aceitação dos alimentos pelo consumidor por ser o fator inicial na escolha do produto. Se a cor não for aceitável, outros fatores de como sabor e textura não serão nem julgados. Segundo Valente (2012) os pigmentos por serem instáveis estão sujeitos a reações químicas, bioquímicas como o escurecimento enzimático e não enzimático. Essas alterações na pigmentação ocorrem principalmente durante o processamento e armazenamento, indicando que transformações que ocorreram nas maçãs.

Cordova (2006) explica que alterações na cor das maçãs ocorrem devido a reações de Maillard, caramelização, oxidação e reações enzimáticas. Duarte (2012) afirma que o escurecimento enzimático é a principal reação que afeta a cor das maçãs de forma negativa, sendo catalisado pela polifenoloxidase (PPO) que é composta por um grupo de enzimas complexas que catalisam a oxidação dos compostos fenólicos a quinonas, que polimerizam a melanoidinas, sendo estes pigmentos acastanhados. Esta reação ocorre em superfícies cortadas ou danificadas das maçãs e tem como objetivo proteção antimicrobiana, antitumorais, antifúngicas e antioxidantes.

De acordo com Sanquetta (2012) técnicas instrumentais por espectrofotômetros são utilizados para avaliar a cor através de sistemas de cores que podem ser: Munsell, Hunter, CIE e CIElab. O espaço cromático é definido em coordenadas retangulares (L^* , a^* , b^*). Moura, S. et al. (2007) explica que a coordenada L^* representa a luminosidade e quanto maior o escurecimento, menor este valor. A e da cromaticidade é representada por vermelho *versus* verde (a^*) e amarelo *versus* azul (b^*). A raiz quadrada do somatório de cada parâmetro ao quadrado dará a diferença total de cor (ΔE) representada pela Equação (17). O índice de escurecimento, (BI) representa a pureza de uma amostra com a cor marrom e está sendo mostrado na equação 18.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (17)$$

$$BI = 100 \left(\frac{x - 0,31}{0,17} \right) \quad (18)$$

Onde:

$$x = \frac{a + 1,75L^*}{5,645L^* + a^* - 3,012b^*} \quad (19)$$

4.6.3 Avaliação da textura

De acordo com Krümmel et al. (2012) a textura está entre os atributos mais importantes para aceitabilidade de maçãs desidratadas. A firmeza da maçã está relacionada à existência de substâncias pécticas, seu amaciamento resulta de mudanças degradativas e da solubilização da pectina devido ação de enzimas pécticas. Alguns tratamentos podem tornar a maçã desidratada excessivamente mole.

Duarte (2012) explica que a textura é formada por fatores mecânicos, geométricos e de superfície de um produto e pode ser percebida por receptores mecânicos, táteis, visuais e auditivos. Sua medição se dá pela dureza, coesividade, elasticidade e mastigabilidade. A dureza é a força necessária para promover uma deformação ou penetração no alimento, os provadores medem-na pela compressão do produto entre os dentes. A coesividade é a força das ligações internas que constituem o alimento e é medida pelo grau de deformação antes de quebrar. A elasticidade é a rapidez com que o alimento recupera-se de uma força de deformação. A mastigabilidade é a energia requerida para mastigar um alimento até que este esteja apto a ser engolido.

Segundo Corrêa (2013) para avaliar a textura utiliza-se método Perfil de Textura (TPA) que através da compressão da amostra fornece um gráfico de força pelo tempo e calcula automaticamente fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade e mastigabilidade através das relações entre as áreas dos picos do gráfico. O TPA tem mostrado resultados equivalentes aos obtidos através da análise sensorial.

Assis (2013) explica que para avaliar a textura os testes mais utilizados são os de compressão e penetração devido à similaridade ao processo de mastigação. Uma sonda cilíndrica ou cônica de pequeno diâmetro perfura a amostra a uma velocidade constante e baixa fornecendo picos de força correspondentes à ruptura das paredes das células individuais utilizando uma máquina de ensaio universal ou um analisador de textura.

4.6.4 Avaliação sensorial

De acordo com Queiroga (2012) a análise sensorial é uma ciência multidisciplinar na qual avaliadores medem características sensoriais e aceitabilidade de produtos alimentícios e outros materiais utilizando a visão, gustação, olfato, sensibilidade cutânea e audição. É uma ciência que objetiva estudar as percepções, sensações e reações do consumidor sobre as características de um produto resultando na sua aprovação ou rejeição. O estudo é dividido em três partes principais, na primeira parte as propriedades de interesse na qualidade sensorial do alimento são escolhidas, na segunda parte o método sensorial mais adequado para quantificação ou qualificação da sensação experimentada pelo provador é escolhida e na terceira parte o método estatístico mais adequado para avaliar os resultados é escolhido.

Andrade (2006) explica que os métodos sensoriais podem ser divididos em analíticos discriminativos, analíticos descritivos e afetivos. A principal diferença entre estes é que nos métodos analíticos, opiniões pessoais não são levadas em consideração, ou seja, os provadores são treinados e a avaliação deve ser objetiva. No método analítico discriminativo os provadores detectam pequenas diferenças entre as amostras, já no analítico descritivo, os provadores descrevem qualitativamente e quantitativamente as amostras utilizando escalas de intervalo ou proporção. No método afetivo a intenção é a opinião do consumidor do produto sobre características específicas do mesmo.

Pereira, N. (2003) complementa explicando que os testes afetivos são separados em teste de preferéncia e teste de aceitação. No teste de preferéncia, o provador é obrigado a escolher entre os produtos qual é de sua preferéncia. O teste de aceitação avalia o quanto o provador gostou, ou não gostou do produto, sendo uma ótima maneira de prever a viabilidade de comercialização do produto. A quantidade ideal de provadores para este teste é entre 25 e 50 para uma melhor análise estatística e o número de amostras não deve passar de 5 por sessão para não ocasionar fadiga sensorial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal fundamento da secagem de maçãs é, além de conservar a fruta e suas propriedades, desenvolver um produto com o excedente da produção, através de uma metodologia simples que beneficia tanto o produtor, ao reduzir o desperdício da sua colheita, quanto aos consumidores que terão mais uma opção saudável para sua alimentação. O estudo mostra que apesar da execução do processo ser simples, muitas variáveis estão presentes e seu entendimento é fundamental para que se tenha um produto final de alta qualidade e que não prejudique a saúde do consumidor. As técnicas de pré-tratamento melhoram os aspectos sensoriais como a coloração e textura das maçãs desidratadas tornando-as mais atrativas e aumentando seu índice de aceitação. O objetivo da revisão foi alcançado ao explicar os principais métodos de pré-tratamento e ao descrever o processo de secagem.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, é importante verificar a viabilidade de implementação dos métodos de pré-tratamento e posterior secagem convectiva, sendo fundamental que estes agreguem valor sensorial notável ao produto final e tragam economia a indústria, para que de fato sejam utilizados e não fiquem apenas no plano experimental. Neste âmbito é interessante que se pesquise a economia de tempo na secagem convectiva que cada pré-tratamento proporciona. Outra sugestão seria realizar análise físico-química de maçãs desidratadas que tiveram resultados extremos, bons e ruins, em análise sensorial para traçar os perfis que têm maiores índices de aceitação e rejeição entre os provadores.

Muitas maçãs desidratadas são utilizadas para chás ou em mistura de cereais, sendo interessante avaliar a capacidade de reidratação destas em água com diferentes temperaturas acima de 60°C e também em iogurte, avaliando se o pré-tratamento influencia na capacidade de reidratação e qual seria o método mais adequado para esta finalidade. Num âmbito mais alinhado com as pesquisas que buscam a utilização de subprodutos indústrias, pode-se avaliar a viabilidade da desidratação da casca da maçã para a produção de farinha, um produto com alto índice de fibras, que pode vir a ser utilizado para fabricação de bolos, pães, biscoitos em misturas para acrescentar ao leite, entre outros.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.A. **Estudo do perfil físico-químico e aceitação de queijo de coalho produzido no estado do Ceará.** 2006. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará. Programa de pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2006.

ASSIS, F. R. **Desidratação e caracterização físico-química de maçãs impregnadas com lactato de cálcio.** 2013. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MAÇÃ. **Componentes nutricionais da maçã.** Disponível em <<http://www.abpm.org.br>> acesso em 23 set, 2014.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO P.A. **Introdução à química de alimentos.** Ed. Varela, São Paulo, 2001.

BRAGA, A.M.P. **Estudo da retenção de constituintes voláteis na secagem de abacaxi sob atmosfera modificada.** 2007. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Campinas, 2007.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 5 de 9 de Fevereiro de 2006.** Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/legislacao>> acesso em 23 set, 2014.

BRASIL, Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. **Fruticultura: a produção de maçãs no Brasil.** Informativo Técnico nº 2, 2010.

BRASIL, Secretaria de Política Agrícola: Informativo Técnico nº 54, 2013. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola>> acesso em 26 set, 2014.

CARDOSO, W.S. *et al.* **Determinação da concentração de sulfito para a manutenção da qualidade da cor em maçã desidratada.** 2007. Universidade Federal de Viçosa. Revista Analytica, n.29, Junho/Julho. 2007.

CELESTINO, S. M. C. **Princípio da Secagem de Alimentos** - Planatina, DF: Embrapa Cerrados. 51 p. - (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176 - 5081; 276), 2010.

CHIARELLI, P.V. *et al.* **Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem da maçã gala (*malus domestica bork*) e mamão formosa (*carica papaya L.*)**. Revista Científica UNILAGO. São José do Rio Preto, São Paulo, 2011.

CHIRIFE, J. **Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods**. In: MUJUMDAR, A. *Advances in drying*. Washington/ New York/ London. Ed. Hemisphere Publishing Corporation, v.3,1983. p. 73-102

CÓRDOVA, K. R. V. **Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva de Maçã Fuji Comercial e Industrial**. 2006. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Curitiba, 2006.

CORRÊA, N. G. **Efeito da velocidade de Congelamento sobre a Liofilização, Reidratação e Atributos de Qualidade de Fatias de Maçã**. 2013. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, São José do Rio Preto, 2013.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. Inglaterra, Clarendon Press, Oxford, 1975. p. 414.

CRUZ, C.A. **Estudo da secagem da maçã: desenvolvimento de novos produtos**. 2013. Dissertação (mestrado). Universidade de Aveiro. Programa de Pós Graduação em Bioquímica Alimentar, Aveiro, 2013.

CZELUSNIAK, C. *et al.* **Qualidade de maçãs comerciais produzidas no Brasil: aspectos físico-químicos**. Brazilian Journal of Food Technology , v.6, n.1, p. 25-31, 2003.

DANESI, E.D.G. *et al.* **Avaliação da influência da casca no processamento de sucos clarificados de maçãs Fuji e Gala**. Acta Scientiarum. Technology.29, n.1, p.91-97, 2007

DIONELLO, R.G. *et al.* **Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido.** Ciências Tecnologia Alimentos, v.27, n.4, p. 701-709, out.-dez, 2007.

DUARTE, G.G. **Parametrização do Processo de Secagem de Fruta, Pera e Maçã.** 2012. Universidade de Aveiro. Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Biotecnologia Alimentar, Aveiro, 2012.

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**, 2ª ed. Editorial Acribia, 1993. 549p.

FERNANDES, M.A. **Obtenção de “chips” de berinjela (*Solanum melongena* L.) mediante processo combinado de desidratação osmótica em solução ternária e secagem convectiva.** 2012. Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, João Pessoa, 2012.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Aplicações do ácido cítrico na indústria de alimentos.** n.30, p. 96 -103, 2014.

FOUST, A.S. *et al.* **Princípios das operações Unitárias.** Rio de Janeiro: LTC, 1983. 2ª ed. GEANKOPLIS, C. Transport and Unit Operations. 2nd Ed. Prentice-Hall International Inc. New Jersey, USA, 1983. 921p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, 2013.

MACHADO, A.V. **Estudo da secagem do pendúculo do caju em sistemas convencionais e solar: modelagem e simulação do processo.** 2009. Dissertação (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de pós graduação de Engenharia Química, Natal, 2009.

MAYTA, S.M.A.; MASSARANI, G.; PINTO, J.C. **Modeling of grain drying in continuous cross-flow sliding bed dryers.** The Canadian Journal of Chemical Engineering, v.74, 1996.

MCCORMICK, P.Y. *et al.* **Solids drying fundamentals**. In: PERRY, R.H. And CHILTON, C.H. Chemical engineer's handbook. McGraw Hill Book Company, 5.ed., section 20:1-16, 1983.

MORAES, S.O. **Secagem de Alimentos**. 2006. Universidade de São Paulo. Programa de Aperfeiçoamento do Ensino Superior, Piracicaba, 2006.

MOURA, F.P.A. *et al.* **Caracterização Físico-Química de Maçãs Desidratadas**. 2012. Faculdade de Tecnologia em Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2012.

MOURA, S.C.S.R. *et al.* **Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados**. Ciências Tecnologia dos Alimentos. v. 27, n.1, p. 141-148, jan.-mar. 2007. n.1,p.12-16, jan. 1939.

NEVES, F. M. **Ação do bissulfito de sódio nas propriedades da farinha de arroz motti tratada com ácido láctico**. 2007. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Pelotas, 2007.

OLIVEIRA, T. M. *et al.* **Uso de embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 1, p. 117-128, jan./mar. 2008.

PARK, K.J. *et al.* **Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem**. 2007. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2007.

PEREIRA, N.R. **Estudo comparativo do processo de torração de amêndoas de cupuaçu por microondas frente ao processo de torração convencional**. 2003. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Campinas, 2003.

PEREIRA, P.A.P.; FONTES, J.BA. **Reatividade e quantificação de metanol e etanol na atmosfera**. Química nova, v. 21, n.6, p. 744 – 754. 1998.

PEREIRA, V.R. **Ácido Ascórbico: características, mecanismos de atuação e aplicações na indústria de alimentos.** 2008. Dissertação (graduação). Universidade Federal de Pelotas. Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Pelotas, 2008.

QUEIROGA, **Estudo da reidratação do feijão Verde (*Vigna unguiculata L. Walp*) desidratado por micro-ondas com e sem pré-tratamento osmótico.** 2012. Dissertação (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Natal, 2012.

ROCHA, R. A.; MUCCILLO, E. N. S. **Efeito da temperatura de calcinação e do teor de dopante nas propriedades físicas da céria-gadólina preparada pela complexação de cátions com ácido cítrico.** Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CCTM, Pinheiros, São Paulo, 2001.

SAMPAIO, S. M. **Secagem, armazenagem e reidratação de cogumelo Shiitake: parâmetros dos processos e efeito sobre a qualidade / Sara Medeiros Sampaio.** --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

SANQUETTA, H.J.M. **Avaliação dos parâmetros de qualidade de fatias de champignons (*agaricus bisporus*) submetidos à desidratação osmótica, secagem convectiva e reidratação.** 2012. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Alimentos, Curitiba, 2012.

SHERWOOD, T.D. **The drying of solids I.** Industrial and Engineering Chemistry, v.21, n.1,p.12-16, jan. 1939.

SILVA, F.; PARK, K.J.; MAGALHÃES, P.M. **Isotermas de dessorção de *Calendula officinalis L.*: determinação experimental e modelagem matemática.** Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.9, n.1, p.21-28, 2007.

TOSATO, P.G. **Influência do etanol na secagem de maçã Fuji.** 2012. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Lavras, 2012.

VALENTE, P.P.S.S. **Desidratação Osmótica e Secagem de Abacaxi (Ananás Comosus (L.) Merrill), Variedade Pérola.** 2007. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Campinas, 2007.

VEGGIE WIZ. **Washington Apple Tasting.** Disponível em <<http://veggiewiz.in/2011/04/washington-apple-tasting.html>> acesso em 13 nov, 2014.

WOSIACKI, G.; PHOLMAN, B.C.; NOGUEIRA, A. **Características de Qualidade de Cultivares de Maçã:** Avaliação Físico Química e Sensorial de Quinze Cultivares. Ciências e Tecnologia de Alimentos, v. 24, n.3, p.347-352, jul.-set. 2004.

8. ARTIGO

O presente artigo foi formatado para submissão ao Boletim CEPPA.

COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE DESIDRATAÇÃO DE MAÇÃS UTILIZANDO DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS

Ana Paula Cardoso do Amaral – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

amaral.apc@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão do processo de desidratação de maçãs com pré-tratamentos com antioxidantes, etanol e osmose para melhorar a qualidade do produto final, auxiliando os usuários deste processo na escolha dos seus parâmetros e incentivando a utilização de novas técnicas. O pré-tratamento busca um menor escurecimento da maçã desidratada, um menor amolecimento na textura, maior intensidade no sabor e aumento da sua vida de prateleira. Foram analisados seis trabalhos que diferiam no método utilizado e nos parâmetros de processo, como temperatura, umidade relativa do ar de secagem, tamanho da amostra, qualidade da fruta, concentração de solução e proporção de amostra. O pré-tratamento com antioxidante é simples, de fácil aplicação, baixo custo e mostrou-se eficiente ao evitar o escurecimento das amostras. O pré-tratamento com etanol é uma técnica com poucos estudos e mostrou-se eficiente na diminuição do tempo de desidratação, evitando perda de nutrientes pela longa exposição às altas temperaturas e tornando o processo mais econômico para indústria, além disso, reduziu o encolhimento superficial, características desejáveis para o produto final. O pré-tratamento osmótico possui muitos estudos e diferentes técnicas de aplicação, sendo altamente eficiente na redução de tempo de desidratação, preservação da cor e atribuindo qualidade sensorial a intensidade de sabor.

Palavras chaves: desidratação, maçãs, pré-tratamento, osmose, etanol, antioxidante.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do IBGE (2013) o Brasil está classificado como o nono maior país produtor mundial de maçãs, sendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul responsáveis por 96% da produção brasileira, porém, de acordo com Valente (2007), de 30% a 40% da produção é perdida no processo pós colheita, seja pela abundância de colheita, pela ausência de manuseio especializado, ou distância do mercado consumidor. Além disto, Wosiacki *et al.* (2004) afirma que cerca de 30% da produção nacional, que não foi perdida após a colheita, é considerada desqualificada para o consumo *in natura* pelos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Moura *et al.* (2012) comentam que devido a este excedente de produção desqualificada para o consumo *in natura* surgiram novos produtos na tentativa de diminuir o desperdício. Entre estes, as maçãs desidratadas estão em destaque pela boa aceitação no mercado, pelo pouco peso e volume, pela praticidade de consumo e de transporte e também como uma opção de lanche saudável devido aos baixos teores de açúcares, gorduras e pela alta quantidade de nutrientes. Saraiva *et al.* (2006) complementam afirmando que além do seu consumo direto, as maçãs desidratadas também são utilizadas como ingredientes em tortas, compotas, cremes, doces, chás e infusões.

Com a expansão do mercado de maçãs desidratadas surge o desafio de desenvolver tecnologias baratas e adequadas, que atendam as expectativas dos consumidores e produtores. De acordo com Oliveira *et al.* (2008) os atributos de maior importância para os consumidores são cor, textura e sabor. Durante o processo de desidratação, a cor das maçãs é afetada por escurecimento devido oxidação química e por reações enzimáticas causadas pela enzima polifenoloxidase (PPO). A textura é afetada pelo amaciamento devido a mudanças degradativas e pela solubilização da pectina devido à ação de enzimas pécticas. Tratar maçãs antes do processo de desidratação diminui as alterações indesejáveis, reduz o tempo de secagem, proporciona ganhos sensoriais e nutricionais e assim, aumenta a eficiência do processo.

O objetivo deste trabalho foi comparar metodologias de pré-tratamentos de desidratação de maçãs que abordam diferentes técnicas e variáveis, como temperatura, umidade relativa do ar de secagem, tamanho de amostra, concentração de solução, tempo de exposição, entre outros, para analisar as melhores condições para este processo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Diversos estudos, como periódicos, dissertações, trabalhos apresentados em congressos, foram utilizados para a elaboração da análise comparativa entre pré-tratamentos de maçãs. Foram escolhidos estudos que proporcionassem entendimento das alterações químicas, físicas e biológicas que ocorrem no processo de desidratação e estudos com diferentes técnicas de pré-tratamentos que suavizam estas alterações e agregam maior qualidade ao produto final.

2.2 MÉTODOS

Foram analisadas pesquisas envolvendo três métodos de pré-tratamento de secagem de maçãs, buscou-se observar a finalidade da aplicação da técnica, parâmetros envolvidos e resultados obtidos. Ao final foi realizada uma análise crítica para discutir a coerência dos resultados com o método aplicado, bem como melhorias que poderiam ser aplicadas para que o estudo tivesse maior validade frente à realidade industrial e o estudo de fato trouxesse melhora para a produção de maçãs desidratadas. Algumas definições são listadas para melhor entendimento dos pré-tratamentos e também dos parâmetros de interesse do presente estudo que são cor, textura e a análise sensorial.

2.2.1 Pré-tratamento com antioxidante

O pré-tratamento com antioxidante é um método simples, consiste em imergir fatias previamente higienizadas de maçãs em uma solução antioxidante por um determinado tempo. A principal intenção é evitar o escurecimento enzimático e não enzimático. Cardoso (2007) explica que os antioxidantes tem capacidade de reagir com compostos oxidantes que são formados quando a maçã é exposta ao oxigênio. Segundo Cruz (2013) os antioxidantes ácidos mais comuns são o ácido ascórbico (vitamina C) e o ácido cítrico que são componentes naturais das frutas. Outros antioxidantes comumente utilizados são os sulfitos, Neves (2007) afirma que a imersão das maçãs fatiadas em soluções com sulfitos ou metabissulfitos, associado ou não a ácidos, controla efetivamente o escurecimento.

2.2.2 Pré-tratamento com etanol

O pré-tratamento com etanol apesar de simples, não é comumente utilizado, consiste em gotejar etanol com a concentração escolhida em fatias de maçãs higienizadas. Tosato (2012) explica que o etanol desnatura proteínas da maçã, inibindo a ação da Polifenoloxidase (PPO) sendo eficaz contra o escurecimento enzimático. Braga (2007) complementa afirmando que em secagens com atmosfera modificada, o etanol é comumente utilizado, pois eleva as taxas de secagem, diminuindo o tempo de processo. O álcool condensa na superfície da amostra e diminui a perda de voláteis retendo maior parte dos aromas.

2.2.3 Pré-tratamento osmótico

A pré-desidratação osmótica consiste na imersão das fatias de maçã previamente higienizadas em uma solução hipertônica de um ou mais solutos, por certo tempo a certa temperatura. Segundo Dionello *et al.* (2007) para um soluto ser usado como agente osmótico é necessário apresentar alta solubilidade em água, baixo custo e efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e estabilidade final do

produto. Queiroga (2012) explica que a solução possui alta pressão osmótica e uma baixa atividade de água fazendo com que o alimento perca água para o meio. A estrutura da célula se comporta como uma membrana semipermeável, havendo troca de soluto do meio para o alimento, assim como do alimento para o meio. Cordova (2006) afirma que quanto menor o índice de ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica melhor é o resultado em termos de cor, textura e sabor do produto final, pois não se altera em demasia o sabor da fruta *in natura*.

2.2.4 Cor

A cor é o principal atributo de escolha do produto pelo consumidor, diversos fatores alteram os pigmentos naturais das maçãs durante a desidratação, entre estes Martins (2012) cita a reação de Maillard que ocorre entre os grupos amino dos aminoácidos e os açúcares redutores, a caramelização que ocorre quando os açúcares são aquecidos a temperaturas e as reações enzimáticas. Segundo Cruz (2013) o escurecimento enzimático é ocasionado principalmente pela enzima polifenoloxidase (PPO) que catalisa a oxidação de compostos fenólicos a quinonas, que polimerizam a melanoidinas. As melanoidinas apresentam propriedades antibacterianas, antitumorais, antifúngicas e antioxidantes. As enzimas são comumente inativadas com tratamento térmico efetivo, com pH abaixo de 3 e através de agentes quelantes, agentes complexantes. Haminiuk (2005) explica que as cores da maçã são comumente medidas por colorímetro, onde o principal indicador é a luminosidade L^* que representa a variação de cor do branco ao preto em uma escala de zero a cem, quanto maior este valor, mais clara é a amostra.

2.2.5 Textura

ABNT (1993) define textura como todas propriedades reológicas e estruturas geométricas e de superfície de um alimento perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos. Sendo assim, a textura é como o consumidor percebe sensorialmente a estrutura do

alimento. Com relação a textura da maçã, Kojima *et al.* (2004) afirma que os polímeros de carboidratos correspondem de 90% a 95% dos componentes estruturais das paredes celular, podendo se agrupar com celulose, hemicelulose e pectina. A pectina é o principal componente da lamela média e da parede celular primária, sua composição química e correlação com os polissacarídeos determinam a firmeza do tecido vegetal. O amolecimento do tecido pode ser atribuído aos processos degradativos da pectina e mudança de adesão entre as células. Duarte (2012) explica que a textura é comumente medida por texturômetro e mensurada pela força e trabalho de perfuração.

2.2.6 Análise Sensorial

Mariano *et al.* (2011) explica que o procedimento básico da avaliação sensorial é apresentar as amostras dos produtos de maneira aleatória e fazer questionamentos sobre preferencia entre amostras ou sobre atributos específicos. A opinião do provador é mensurada através da escala Hedônica e assim é realizada a análise estatística dos resultados. De acordo com Andrade (2003) a avaliação sensorial tem por objetivo através da opinião de um grupo de provadores, treinados ou não, analisar produtos em desenvolvimento, alterações em produtos já consolidados no mercado, controlar a qualidade da matéria prima e controlar variações nos processos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PRÉ-TRATAMENTO COM ANTIOXIDANTE

Krümmel *et al.* (2012) utilizou em seu trabalho maçãs Fuji cortadas em cubos de 5 mm e para o pré-tratamento, utilizou três antioxidantes: ácido ascórbico 2%, ácido cítrico 2% e bissulfito de sódio 2%. As maçãs ficaram submersas por 5 minutos nas soluções e depois foram secas em secador descontínuo de bandejas, a 60°C até que atingissem peso constante. O objetivo do trabalho era através da curva

de secagem, análise de cor e análise de textura avaliar maçãs pré-tratadas utilizando estes diferentes antioxidantes. As amostras tratadas com ácido ascórbico aos 70 minutos de secagem atingiram peso constante, as amostras tratadas com ácido cítrico aos 75 minutos e as amostras tratadas com bissulfito de sódio, após 80 minutos de processo. Com relação à análise de cor, as amostras *in natura* e com pré-tratamento não apresentaram diferença significativa entre si e apresentaram valores de luminosidade em torno de 83. A respeito da medição de textura, as amostras com bissulfito de sódio necessitou de uma força de perfuração mais elevada que as demais amostras, 106,35 g, mostrando possuir uma textura mais crocante e firme, características desejadas em maçãs desidratadas sendo assim escolhida como melhor opção de pré-tratamento. Ao comparar as demais amostras com relação a textura, as pré-tratadas com ácido cítrico não diferiram estatisticamente das pré-tratadas com ácido ascórbico, apresentando força de perfuração média de 70,5 g.

Krümmel e Oliveira (2012) utilizou em seu trabalho maçãs Gala cortadas em cubos de 2 mm e para o pré-tratamento, utilizou dois antioxidantes: ácido cítrico 1% e ácido ascórbico 1%. A secagem das maçãs foi realizada em secador descontínuo de bandejas com temperatura do ar de secagem de 60°C, velocidade de 1 m/s até que as amostras atingissem peso constante. O objetivo do trabalho era através da curva de secagem e da análise de textura, avaliar maçãs pré-tratadas utilizando estes diferentes antioxidantes. Com relação à curva de secagem, as amostras tratadas com ácido cítrico aos 95 minutos de secagem atingiram peso constante e obtiveram umidade final de $17,60 \pm 0,85\%$, as amostras tratadas com ácido ascórbico aos 75 minutos de secagem atingiram peso constante e obtiveram umidade final de $11,49 \pm 0,33\%$. Foram analisados os modelos de Henderson and Pabis, Midilli e Page, todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais, mas o modelo de Page foi escolhido como melhor pela sua simplicidade. A respeito da medição de textura, as amostras que utilizaram ácido ascórbico como pré-tratamento necessitaram de uma força de perfuração 134,30 g, enquanto as amostras que utilizaram ácido cítrico necessitaram de uma força de perfuração 100,75 g e por isso o ácido ascórbico foi considerado a melhor opção de pré-tratamento.

Cardoso *et al.* (2007) utilizou em seu trabalho maçãs Fuji cortadas em fatias de 3 mm de espessura e testou sete combinações de antioxidantes, ácido ascórbico

e ácido cítrico 0,1% combinado com 50 mg, 100 mg e 200 mg de metabissulfito de sódio para cada kg de maçã e também testou a mistura dos ácidos e o metabissulfito de sódio separadamente, conforme mostrado da Tabela 1. As amostras ficaram imersas nas soluções por uma hora e após foi realizada a secagem em secador de bandejas a 80°C por três horas e obteve umidades finais variando de 7% a 9%. O objetivo do trabalho era comparar a luminosidade final das amostras com os diferentes pré-tratamentos e determinar qual o melhor entre estes. O maior resultado de luminosidade, 80,1, foi obtido pelas amostras pré-tratadas com ácido ascórbico e ácido cítrico 0,1% combinado com 200 mg de metabissulfito de sódio para cada kg de maçã e o menor resultado de luminosidade, 55, foi obtido pelas amostras desidratadas sem pré-tratamento.

Tabela 1 – Combinações de antioxidantes testados no pré-tratamento

Amostra	Pré-tratamento
1	Sem pré-tratamento
2	50 mg de metabissulfito de sódio/kg de maçã
3	100 mg de metabissulfito de sódio/kg de maçã
4	200 mg de metabissulfito de sódio/kg de maçã
5	0,1% Ácido cítrico e ascórbico
6	0,1% Ácido cítrico e ascórbico mais 50 mg de metabissulfito de sódio/kg de maçã
7	0,1% Ácido cítrico e ascórbico mais 100 mg de metabissulfito de sódio/kg de maçã
8	0,1% Ácido cítrico e ascórbico mais 200 mg de metabissulfito de sódio/kg de maçã

Fonte: Cardoso *et al.* (2007)

A Tabela 2 resume os métodos de pré-tratamentos de desidratação utilizados por Krümmel *et al.* (2012), Krümmel e Oliveira (2012) e Cardoso *et al.* (2007). A Tabela 3 resume o posterior método de desidratação utilizado por estes mesmos autores.

Tabela 2 – Métodos de pré-tratamento com antioxidante

	Pré-tratamento	Espessura da amostra	Tempo	Qualidade
Krümmel et al. (2012)	Ácido ascórbico 2%, Ácido cítrico 2% e Bissulfito de Sódio 2%.	5 mm	5 minutos	Fuji
Krümmel e Oliveira (2012)	Ácido Ascórbico 1% e Ácido Cítrico 1%	2 mm	5 minutos	Gala
Cardoso <i>et al.</i> (2007)	Ácido Ascórbico e Ácido Cítrico 0,1%, 50mg, 100 mg e 200 mg de Metabissulfito de Sódio/kg de maçã	3 mm	1 hora	Fuji

Fonte : Krümmel et al. (2012), Krümmel e Oliveira (2012) e Cardoso *et al.* (2007)

Tabela 3 – Métodos de desidratação após o pré-tratamento com antioxidantes

	Temperatura	Tempo	Tipo de Secador
Krümmel <i>et al.</i> (2012)	60°C	Até peso constante	Bandeja
Krümmel e Oliveira (2012)	60°C	Até peso constante	Bandeja
Cardoso <i>et al.</i> (2007)	80°C	3 horas	Bandeja

Fonte : Krümmel *et al.* (2012), Krümmel e Oliveira (2012) e Cardoso *et al.* (2007)

3.1.1 Comparação entre métodos de pré-tratamento com antioxidante

Krümmel *et al.* (2012) e Krümmel e Oliveira (2012) secaram as amostras até obterem peso constante. Houve divergência de 20 minutos no tempo de secagem das amostras pré-tratadas com ácido cítrico. Krümmel e Oliveira (2012) utilizou velocidade do ar de secagem de 1 m/s e não especificou a umidade relativa do ar de secagem, Krümmel et al. (2012) não especificou nem a velocidade do ar de secagem utilizada nem umidade relativa do ar de secagem. Duarte (2012) observou em seu trabalho que a temperatura do ar de secagem influencia 74% no tempo total de secagem, a velocidade do ar 15% e a umidade do ar 11%. Além destes fatores, a diferença de cultivar da maçã utilizada pode ter interferido no tempo de secagem.

Vasques *et al.* (2006) observou em seu trabalho que maçãs do cultivar Gala demoram, em média, 35% a mais para atingir o mesmo grau de desidratação do cultivar Fuji devido suas características físico-químicas.

Comparando os resultados obtidos nos trabalhos de Krümmel *et al.* (2012) e Krümmel e Oliveira (2012), houve divergência nos resultados de textura. A diferença de rigidez pode ter sido causada pela utilização de maior concentração de antioxidante no pré-tratamento utilizado por Krümmel *et al.* (2012). De acordo com Coelho (2008) em meio ácido pode ocorrer a hidrólise das ligações glicosídicas α -1,4 e desmetoxilação dos grupos esterificados da pectina causando sua degradação.

Com relação a análise de cor, Krümmel *et al.* (2012) obteve valores médios de luminosidade em torno de 83, não havendo diferença estatística entre os resultados dos diferentes pré-tratamentos. Cardoso *et al.* (2007) obteve maior valor de luminosidade, 80,1, com 200 mg de metabissulfito de sódio combinado com ácido ascórbico e cítrico 0,1%, a adição de ácidos favoreceu apenas as amostras com valores de sulfito maiores que 100 mg/kg de maçã. Os ácidos diminuíram o pH, diminuindo assim as reações enzimáticas e potencializando a adição dos sulfitos. Cardoso *et al.* (2007) obteve, em média, valores de luminosidade em torno de 65 o que pode ser explicado devido a alta temperatura utilizada durante a secagem. Martins (2011) explica que temperaturas elevadas favorecem o escurecimento não enzimático das maçãs.

Cardoso *et al.* (2007) imergiu as amostras por uma hora no antioxidante, não foi encontrado na literatura justificativa para este longo período, além disto, o único parâmetro avaliado em seu trabalho foi a coloração final das amostras e, analisando pelo tempo elevado de pré-tratamento, outros parâmetros sensoriais como sabor e textura podem ter sido afetados. Com relação à secagem, a temperatura escolhida foi de 80°C, sendo esta justificada pela volatilização do sulfito com o calor para não apresentar risco à saúde humana, visto que o valor inicial das amostras que utilizaram 200 mg de metabissulfito de sódio para cada kg de maçã está acima do valor máximo tolerável pela legislação. Oliveira *et al.* (2008) explica que o sulfito pode causar alergias ao consumidor e danos ao produto como desenvolvimento de sabor desagradável e perda de vitamina B.

Krümmel *et al.* (2012) e Cardoso *et al.* (2007) concluíram que o melhor pré-tratamento entre os testados em seus trabalhos deu-se com a utilização de sulfitos.

Vasques *et al.* (2006) pré-tratou maçãs Fuji com bissulfito de sódio 5,6 g/L e amido pré-gelatinizado 20 g/L e as desidratou a 60 °C com velocidade do ar de secagem de 0,121 m/s por, em média, 4 horas. Após, foi realizada a análise sensorial e 86% das amostras apresentaram rejeição pelos provadores. Pelo exposto, faz-se necessária uma análise sensorial para a comprovação de que de fato as técnicas descritas por Krümmel *et al.* (2012) e Cardoso *et al.* (2007) com a utilização de sulfitos seja a melhor opção de antioxidante como pré-tratamento.

3.2 PRÉ-TRATAMENTO COM ETANOL

Tosato (2012) cortou maçãs Fuji em fatias de 2,01 cm de comprimento por 0,49 cm de espessura e colocou em um suporte de poliestireno, de forma que apenas as partes superiores das maçãs ficassem expostas ao ar de secagem com variação de temperatura de 45,9°C a 74,1°C e com umidade relativa de 14,37% a 32,7% as amostras testadas sem etanol estão representadas por letras, e as amostras testadas com etanol estão representada por números, conforme mostrado na Tabela 4. Nas amostras pré-tratadas, foram gotejados 0,13 mL de etanol comercial 96°GL por cm² nas partes superiores das amostras. O secador utilizado foi o secador de bandejas com túnel de ar e a secagem foi feita até que as amostras ficassem com 17,10% ± 2,44% de umidade, o que ocorreu entre 195 minutos e 515 min. Tosato (2012) objetivava em seu trabalho analisar a cor, textura, encolhimento superficial, atividade de água, capacidade de reidratação, qualidade visuais e sólidos solúveis totais de maçãs desidratadas após tratamento com etanol e sem tratamento, comparando como diferentes temperaturas e umidades relativas do ar afetam estes atributos.

Tabela 4 – Temperatura de secagem e umidade relativa do ar de secagem das amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento

Amostras	T (°C)	UR (%)
1 e A	50	17
2 e B	70	17
3 e C	50	30
4 e D	70	30
5 e E	45,9	23,5
6 e F	74,1	23,5
7 e G	60	14,3
8 e H	60	32,7
9 e I	60	23,5
10 e J	60	23,5
11 e K	60	23,5

Fonte: Tosato (2012)

Com relação à textura, para as amostras pré-tratadas com etanol, o melhor resultado foi do ensaio 2, a 70°C e 17%, apresentando força de 76,56 g, para as amostras sem pré-tratamento, o melhor resultado foi a 60°C e 14,3%, apresentando força de 77,59 g. Para os processos a 60°C quanto maior a umidade relativa do ar de secagem, pior a textura da maçã.

Com relação a análise de cor, a temperatura afetou diretamente a coloração do produto final. Pelos ensaios foi possível observar que altas temperaturas com baixas umidades relativas do ar e também, baixas temperaturas com elevadas umidades relativas do ar, favorecem o escurecimento não enzimático devido à degradação e a mudança na atividade biológica de compostos mais sensíveis como os flavonoides. O etanol, por ser um solvente, pode danificar a membrana da célula o que causa escurecimento ao colocar polifenoloxidase em contato com oxigênio. As amostras pré-tratadas com etanol apresentaram luminosidade média de 77,03, enquanto as amostras *in natura* apresentaram luminosidade média de 80,46. Os melhores resultados foram obtidos a 60°C e umidade relativa 32,7% (ensaio 8H) na variação total da cor e no índice de escurecimento. Por outro lado Correa *et al.* (2012) desidratou bananas com etanol em sua superfície a 60°C e notou que

ocorreu maior proporção de luminosidade nas bananas passando de maduras com este pré-tratamento, as bananas também possuem polifenoloxidase.

O encolhimento superficial evidencia danos estruturais e forma uma camada rígida que dificulta a vaporização na superfície, sendo desejado que este fator seja o menor possível. As amostras pré-tratadas com etanol, tiveram menor encolhimento superficial e quanto maior a temperatura aplicada no processo de secagem, maior foi o encolhimento registrado, a condição ideal teve-se com temperatura de 54°C e 24,55% de umidade. Todas as amostras que utilizaram pré-tratamento com etanol tiveram menor tempo de secagem para atingir 17% de umidade. Diminuindo, assim, os danos causados por períodos prolongados a altas temperaturas.

3.3 PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO

Córdova (2006) utilizou dois pré-tratamentos osmóticos, o primeiro com solução de sacarose comercial 50% e o segundo com solução de sorbitol 50%. As maçãs foram cortadas em fatias de 1cm³, imersas em solução de ácido cítrico 0,05% por 10 minutos para minimizar o escurecimento enzimático, depois as amostras foram colocadas em béquer de 1000mL, contendo as soluções para o pré-tratamento osmótico e previamente aquecida a 30°C, na proporção amostra:solução de 1:10 (p/p). Os conjuntos de amostras e soluções permaneceram em banho termostático a 30°C, com agitação de 110 rpm, durante três horas. A secagem dos cubos de maçãs foi realizada em secador de bandejas, com fluxo de ar horizontal a temperatura de 60°C, vazão de ar de 18m³/h por três horas, tempo necessário para atividade de água ficar entre 0,5 a 0,6.

O objetivo do trabalho era caracterizar as diferenças entre maçãs comerciais e industriais pré-desidratadas osmoticamente com sacarose e sorbitol e posteriormente secas convectivamente. A maçã industrial é menor que a comercial e possui características físico-químicas de maçãs maduras, como pH menor e maior °Brix dos sólidos solúveis. Primeiramente foram realizados testes preliminares para escolher as melhores condições de temperatura, tempo, concentração, agitação para a pré-secagem osmótica e para secagem convectiva. O experimento com os parâmetros escolhidos foi repetido por 12 vezes. Para avaliar a eficiência da

secagem de maçãs foi realizada análise físico-química completa (cinzas, umidade, proteínas, lipídios, fibra bruta, carboidratos, valor calórico), análise de atividade de água, de sólidos totais, pH, acidez total, açúcares redutores e açúcares totais, sólidos solúveis, cor, difusividade, análise microbiológica, análise estrutural e análise sensorial. A análise sensorial foi realizada com um grupo de 50 provadores treinados e mostrou rejeição para a amostra pré-desidratada com sorbitol, por isso, as análises foram feitas apenas para as amostras pré-desidratadas com sacarose.

Após a secagem, as maçãs ficaram com umidade média de 23%, tiveram uma redução de atividade de água de 44,44%, obtendo como valor final 0,545 o que reduziu em 2 horas o tempo do processo. O ganho médio de sólidos foi de 6,5% para maçã comercial e 4,1% para a maçã industrial. A luminosidade da maçã industrial pré-desidratada com sacarose teve resultado 60,25, a maçã comercial com o mesmo tratamento apresentou luminosidade de 59,85, a amostra *in natura* apresentou luminosidade de 69 tanto para maçã comercial quanto industrial.

Com relação a análise sensorial, no teste de preferência, foi utilizada escala hedônica de 1 a 9, para as maçãs pré-desidratadas com sorbitol, 58% das notas ficaram abaixo de 3, já para as maçãs pré-desidratadas com sacarose 62% das notas ficaram acima de 7. No teste de atitude, 66% das maçãs comerciais pré-desidratadas com sacarose e 60% das maçãs industriais pré-desidratadas com sacarose foram classificadas com intenção de consumo. No teste de perfil de característica foram analisadas aparência, cor, odor, sabor e textura utilizando escala hedônica de 5 pontos e pode-se perceber que as amostras pré-desidratadas com sorbitol tiveram rejeição pelo sabor residual e pela textura menos firme. Além da análise sensorial, a textura foi avaliada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura e observou-se que a partir de 180 minutos de desidratação osmótica, as amostras apresentaram tendência de destruição celular, o que afeta a permeabilidade da membrana, podendo influenciar nas propriedades de transporte do soluto durante o processo favorecendo o aumento de sólidos nas amostras.

Chiarelli et al. (2011) utilizou pré-tratamento osmótico com solução de sacarose comercial 1:4 de maçã Gala:sacarose, com uma concentração de 33,3° Brix. As maçãs foram cortadas em fatias cúbicas de 1cm e colocadas na solução para o pré-tratamento osmótico em banho termostático a 40°C, durante duas horas. A secagem dos cubos de maçãs foi realizada em secador de estufa com circulação

de ar a temperatura de 60°C e 80°C até que as maçãs atingissem peso constante. O objetivo era analisar se os dados de secagem poderiam se ajustar ao modelo de Page e analisar a curva de secagem para avaliar se a pré-secagem osmótica reduziria o tempo de secagem em estufa com circulação de ar. Neste trabalho não foi utilizado nenhum pré-tratamento com antioxidante e foram comparadas amostras submetidas a secagem a 80°C sem pré-secagem osmótica e amostras com pré-secagem osmótica e posterior secagem a 60°C e 80°C.

A curva de secagem mostrou que as amostras com secagem em estufa a 80°C atingiram peso constante mais rapidamente do que a amostra com pré-desidratação osmótica e posterior secagem a 60°C, mostrando que a temperatura de secagem influi mais no tempo de secagem do que o pré-tratamento osmótico. Visualmente as maçãs com pré-tratamento osmótico e desidratadas a 80°C ficaram mais escuras que as desidratadas a 60°C, mas ainda assim mais claras que as maçãs sem pré-tratamento osmótico. Para melhor análise dos resultados poderia ter sido feita análise de cor, análise de textura, umidade final e análise sensorial das amostras. Os dados experimentais se ajustaram bem ao modelo de Page.

Moura et al. (2007) utilizou maçãs Fuji cortadas em quatro partes. Primeiramente, as maçãs foram mergulhadas em solução de ácido cítrico 4% com ácido ascórbico 6%, depois foram desidratadas osmoticamente com xarope 60°Brix, na proporção 3 xarope:1 amostra de maçã, a temperatura de 45°C por dezesseis horas. Para a secagem foi utilizado um secador de bandejas, na temperatura de 70°C, com velocidade do ar de 1,5 m.s⁻¹ por seis horas. O objetivo do estudo era avaliar a vida de prateleira de maçãs desidratadas alocadas em embalagens plásticas de polietileno em ambiente com temperatura controlada de 5°C, 25°C e 35°C. Antes de embalar as maçãs desidratadas, foram realizadas análises de atividade de água, cor, umidade e análise sensorial.

A umidade após a desidratação foi 13,68%, a luminosidade média após a secagem foi de 80,44 e a atividade de água 0,65. Na análise sensorial, o teste escolhido foi o de aceitação, 48,48% dos provadores classificaram as maçãs desidratadas como "gostei" e 30,30% como "gostei muito", o que mostra a boa aceitação do produto final obtido. Com relação à vida de prateleira, a cor começou a ser afetada pela temperatura de armazenamento a partir de 58° dias, já o sabor e a textura a partir do 70° dia. A vida de prateleira das maçãs desidratadas em ambiente

a 35°C foi de 100 dias, enquanto que em ambiente a 5°C e 25°C foi de 200 dias. Os resultados da análise sensorial tiveram o mesmo comportamento que os obtidos instrumentalmente e a cor foi o parâmetro que mais afetou o julgamento dos provadores.

As Tabelas 5 e 6 resumem os três métodos de pré-tratamento osmóticos citados e a Tabela 7 resume a secagem posterior aos pré-tratamentos.

Tabela 5 – Métodos de pré-tratamento osmótico

	Utilização de Ácido	Espessura da amostra	Qualidade
Cordova (2007)	Ácido Cítrico 0,05%	1 cm	Fuji
Chiarelli et al. (2011)	Não	1 cm	Gala
Moura et al. (2007)	Ácido Cítrico 4% com Ácido Ascórbico 6%	-	Fuji

Fonte: Cordova (2007), Chiarelli *et al.* (2011), Moura *et al.* (2007)

Tabela 6 – Métodos de pré-tratamento osmótico

	Solução	Amostra: Volume	Temperatura	Tempo	Agitação
Cordova (2007)	50% Sacarose	01:10	30°C	3h	Sim
	50% Sorbitol				
Chiarelli <i>et al.</i> (2011)	33% Sacarose	01:04	40°C	2h	Não
Moura <i>et al.</i> (2007)	60% Sacarose	01:03	45°C	16h	Não

Fonte: Cordova (2007), Chiarelli *et al.* (2011), Moura *et al.* (2007)

Tabela 7 - Método de desidratação após o pré-tratamento osmótico

	Temperatura	Tempo	Tipo de Secador
Cordova (2007)	60°C	3 horas	Bandeja
Chiarelli <i>et al.</i> (2011)	60°C 80°C	Até peso constante	Estufa com circulação de ar
Moura <i>et al.</i> (2007)	70°C	6 horas	Bandeja

Fonte: Cordova (2007), Chiarelli *et al.* (2011), Moura *et al.* (2007)

3.3.1 Comparação entre métodos de pré-tratamento osmóticos

O estudo realizado por Chiarelli *et al.* (2011) mostrou que os dados experimentais se ajustaram bem ao modelo de Page, da mesma forma como foi observado por Krümmel e Oliveira (2012). Além disso, mostrou que temperaturas elevadas produziram maçãs desidratadas mais escuras, resultado observado também por Tosato (2012). Com relação a luminosidade, Moura *et al.* (2007) obteve valor de luminosidade próximo ao encontrado por Krümmel *et al.* (2012) e Cardoso *et al.* (2007). Córdova (2006) obteve menores resultados de luminosidade para as amostras desidratadas osmoticamente, mas a concentração de antioxidante utilizada antes do procedimento foi inferior, o que pode explicar a divergência de resultado.

O trabalho de Moura *et al.* (2007) apresentou ótimos resultados para a vida de prateleira do produto, característica de interesse da indústria, mas o tempo de pré-tratamento osmótico e o tempo de desidratação tornam o processo como todo inviável industrialmente. Um fator diferencial deste método é a utilização de amostras com espessura bem acima dos demais, mas esta técnica deveria ser reavaliada para medir o impacto de menores tempos de processo na vida de prateleira das amostras desidratadas. Cordova (2006) afirma que longos períodos de exposição da amostra na solução osmótica enfraquecem as membranas celulares podendo desintegrar o tecido vegetal, observando a partir de 180 minutos de desidratação osmótica tendência de destruição celular e com isso o aumento da incorporação de sólidos alterando as características da maçã.

Souza Neto *et al.* (2005) mostrou em seu estudo sobre pré-tratamento osmótico de mangas, que o aumento da concentração da solução osmótica aumentou a perda de peso e de água e o ganho de sólidos foi pequeno, sendo considerada a solução ideal sacarose 65%. Assim, ao utilizar maior concentração de soluto, o tempo de pré-tratamento osmótico pode ser reduzido. Outra solução para a redução do tempo no processo de desidratação osmótica é apresentada por Eler *et al.* (2009) que em seu estudo sobre desidratação osmótica de maçãs verdes, mostrou que a agitação durante o pré-tratamento osmótico diminui o tempo necessário de processo, pois ajudou na perda de água. Este procedimento foi utilizado apenas por Cordova (2006), mas se fosse utilizado por Moura *et al.* (2007), poderia ter diminuído o tempo de desidratação osmótica. Outro recurso seria a utilização de vácuo, Souza Neto *et al.* (2005) utilizou vácuo durante o pré-tratamento osmótico de mangas e obteve mais rápida remoção de água do alimento.

Dionelo (2007), assim como Cordova (2006) utilizou a relação fruta: xarope 1:10, e a considerou como a mais adequada entre as testadas no pré-tratamento osmótico de abacaxis. Como soluto, além da sacarose, utilizou açúcar líquido invertido, mas este aumentou o teor de sólidos solúveis totais das fatias de abacaxi, resultado não desejado. Valente (2007) utilizou solução de maltose além da solução de sacarose na desidratação osmótica de abacaxi. Nas mesmas condições de processo, o abacaxi desidratado osmoticamente com solução de maltose apresentou maior perda de água, menor quantidade de incorporação de sólidos e maior resistência a deformação. Não foram encontrados trabalhos utilizando maltose como pré-tratamento osmótico de maçãs.

4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os métodos de pré-tratamento que utilizaram antioxidantes mostraram-se eficazes na prevenção do escurecimento enzimático, sendo os sulfitos, misturados ou não com ácidos, a melhor opção para este tipo de pré-tratamento. Para que não ocorra escurecimento não enzimático, a temperatura utilizada durante a secagem não deve ser muito alta, ficando em torno dos 60°C. Seria interessante a realização de um experimento que avaliasse a influência da concentração de antioxidante no

pré-tratamento para a textura do produto final. Outro experimento interessante seria a realização de análise sensorial para verificar se provadores conseguem diferenciar maçãs pré-tratadas com sulfitos das pré-tratadas com ácido cítrico ou ascórbico e qual sua preferência.

O estudo que utilizou o etanol como pré-tratamento mostrou como a umidade relativa do ar de secagem interfere nos parâmetros de qualidade. Na maioria dos estudos se observa uma maior preocupação com o tempo e temperatura de exposição das amostras durante a secagem, porém a umidade do ar não é mensurada, então ao comparar o resultado obtido com a literatura ocorrem divergências pela falta de controle desta variável. O etanol mostrou-se eficiente ao reduzir o tempo de processo, o que do ponto de vista industrial é vantajoso por trazer economia de energia ao processo, mas o etanol é com componente que entra em combustão precisaria de maiores estudos para validar sua aplicabilidade na indústria. Com relação aos resultados obtidos para a luminosidade do produto final, que ficou um pouco abaixo das amostras *in natura*, como sugestão de trabalho futuro, seria interessante utilizar antioxidantes antes de realizar o pré-tratamento com etanol para a redução da atividade enzimática o que poderia diminuir este escurecimento e fazer análise sensorial, para constatar se a diferença dos resultados obtidos para a coloração das amostras é perceptível aos provadores e para constatar se as maçãs pré-tratadas com etanol apresentam sabor residual.

A principal vantagem na utilização de pré-tratamento osmótico foi a maior atribuição de valor sensorial ao produto e o menor tempo de secagem. Na análise dos trabalhos que utilizaram pré-tratamento osmótico, ficou clara a importância da análise sensorial, visto que amostras que utilizaram sorbitol como soluto, não foram aceitas pelos consumidores, não apresentando, assim, validade comercial. Outros solutos, como a maltose, também poderiam ser testados neste método. Alguns trabalhos mostraram que a desidratação osmótica foi eficiente ao evitar o escurecimento das maçãs desidratadas, outros tiveram resultados divergentes e em todos a textura obtida foi aprovada pelos provadores. Pelos resultados observados e discutidos, seria interessante avaliar maçãs pré-desidratadas osmoticamente por um método que utilize maior temperatura de solução osmótica, em média 40°C, por um menor tempo, de 2h a 3h, com maior concentração de sacarose na solução, em média 60%, e maior concentração de antioxidante antes da desidratação

osmótica, de 1% a 2%, o que tornaria mais viável industrialmente todo o processo pelo menor tempo de processamento e maior ganho sensorial.

De maneira geral, todos os pré-tratamentos trouxeram benefícios ao produto final, mas como pôde-se observar existem muitas variáveis ligadas tanto ao processo de pré-tratamento quanto ao processo de secagem de maçãs. O presente trabalho mostrou a importância da pesquisa na literatura para o bom planejamento industrial, pois unindo resultados já obtidos fica mais fácil determinar os parâmetros dos processos e variáveis de interesse na pesquisa. A análise dos estudos já realizados permite que novos estudos se tornem cada vez mais refinados e eficazes.

COMPARISON OF APPLES DRYING METHOD WITH DIFFERENTS PRETREATMENTS

ABSTRACT

The objective of this study was to review the process of dehydration apples focusing on pretreatment with antioxidants, ethanol and osmosis to improve the quality of the final product of this process, helping users in their choice of parameters and encouraging the use of new techniques. Pretreatment avoid darkness in dehydrated apple and also avoid soft texture, besides it gives more intense flavor and increased shelf life. Six different method and process parameters as temperature, relative humidity of the drying air, sample size, apple type, solution concentration and proportion of the sample were analyzed. Pretreatment with antioxidant is simple, easy to use, low cost and is efficient to prevent darkness in samples. The pretreatment with ethanol is a technique with a few studies and it is effective in decreasing dehydration time, preventing loss of nutrients by long exposure to high temperatures and doing the process more economical, moreover it reduced superficial shrinkage which is desirable for the end product. The osmotic pretreatment has many studies and different techniques of application, it is highly efficient in reducing dehydration time, color preservation and sensory intensity quality of flavor.

Keywords: dehydration, apples, pretreatment, reverse osmosis, ethanol, antioxidant.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.A. **Estudo do perfil físico-químico e aceitação de queijo de coalho produzido no estado do Ceará.** 2006. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará. Programa de pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise sensorial dos alimentos e bebidas.** NBR 12806: Terminologia. Rio de Janeiro, 1993. 8 p.

BRAGA, A.M.P. **Estudo da retenção de constituintes voláteis na secagem de abacaxi sob atmosfera modificada.** 2007. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Campinas, 2007.

CARDOSO, W.S. *et al.* **Determinação da concentração de sulfito para a manutenção da qualidade da cor em maçã desidratada.** 2007. Universidade Federal de Viçosa. Revista Analytica, n.29, Junho/Julho. 2007.

CHIARELLI, P.V. *et al.* **Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem da maçã gala (*malus domestica* bork) e mamão formosa (*carica papaya* L.).** Revista Científica UNILAGO. São José do Rio Preto, São Paulo, 2011.

COELHO, M.T. **Pectina: características e aplicações em alimentos.** 2008. Dissertação (graduação). Universidade Federal de Pelotas. Programa de Graduação em Bacharelado em Química de Alimentos, Pelotas, 2008.

CÓRDOVA, K. R. V. **Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva de Maçã Fuji Comercial e Industrial.** 2006. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Curitiba, 2006.

CORRÊA, J.L.G. *et al.* **The Influence of Ethanol on the Convective Drying of Unripe, Ripe, and Overripe Bananas.** Drying Technology: An International Journal.v.30, n. 8, p. 817-826. 2012.

CRUZ, C.A. **Estudo da secagem da maçã: desenvolvimento de novos produtos.** 2013. Dissertação (mestrado). Universidade de Aveiro. Programa de Pós Graduação em Bioquímica Alimentar, Aveiro, 2013.

DIONELLO, R.G. *et al.* **Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido.** Ciências Tecnologia Alimentos, v.27, n.4, p. 701-709, out.-dez, 2007.

DUARTE, G.G. **Parametrização do Processo de Secagem de Fruta, Pera e Maçã.** 2012. Universidade de Aveiro. Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Biotecnologia Alimentar, Aveiro, 2012.

ELER, F.M. *et al.* **Estudo da desidratação osmótica de fatias de maçã verde em batelada.** VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2009.

GOMES, A.T. CEREDA, M.P. VILPOUX, O. **Desidratação Osmótica:** uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. v. 3, n. 3, p. 212-226, set/dez, 2007.

HAMINIUK, *et al.* **Efeito de pré-tratamentos no escurecimento das cultivares de maçã fuji e gala após o congelamento.** Ciências agrotécnicas. v. 29, n. 5, p. 1029-1033, set./out, 2005

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola,** 2013.

KOJIMA, T. *et al.* **Plant compounds and fruit texture:** the case of pear. Texture in Food: Solid Foods. v. 2: p. 259–294, 2004.

KRÜMMEL, A. *et al.* **Secagem de maçã Fuji:** Influência do pré-tratamento nos parâmetros de textura e cor. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Búzios, Rio de Janeiro, 2012.

KRÜMMEL, A. OLIVEIRA, E.G. **Cinética de secagem de chips de maçã Gala com diferentes pré-tratamentos.** 21º Congresso de Iniciação Científica, 4º Mostra Científica. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

MARIANO, E.J. NUNES, E.E. VALENTINI, E. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos e sensoriais da maçã desidratada para uso como aperitivo.** 2011. Dissertação (graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação de Tecnologia em Alimentos, Curitiba, 2011.

MOURA, F.P.A, *et al.* **Caracterização Físico-Química de Maçãs Desidratadas.** Faculdade de Tecnologia em Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2012.

MOURA, S.C.S.R. *et al.* **Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados.** Ciências Tecnologia de Alimentos. v.27, n.1, p. 141-148, jan.-mar. 2007.

NEVES, F. M. **Ação do bissulfito de sódio nas propriedades da farinha de arroz motti tratada com ácido láctico.** 2007. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Pelotas, 2007.

OLIVEIRA, T. M. *et al.* **Uso de embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 1, p. 117-128, jan./mar. 2008.

QUEIROGA, **Estudo da reidratação do feijão Verde (*Vigna unguiculata* L. Walp) desidratado por micro-ondas com e sem pré-tratamento osmótico.** 2012. Dissertação (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Natal, 2012.

SARAIVA, S.H. *et al.* **Estudo do processo de secagem de maçã.** XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

SOUZA NETO, M.A. *et al.* **Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo.** Ciência agrotécnica, v. 29, n. 5, p. 1021-1028, set./out., 2005.

TOSATO, P.G. **Influência do etanol na secagem de maçã Fuji.** 2012. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Lavras, 2012.

VALENTE, P.P.S.S. **Desidratação Osmótica e Secagem de Abacaxi (*Ananás Comosus* (L.) Merrill), Variedade Pérola.** 2007. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Campinas, 2007.

VASQUES, A.R. *et al.* **Avaliação sensorial e determinação de vida-de-prateleira de maçãs desidratadas.** Ciências Tecnologia de Alimentos. v. 26, n.4, p. 759-765, out/ dez. 2006

WOSIACKI, G.; PHOLMAN, B.C.; NOGUEIRA, A. **Características de Qualidade de Cultivares de Maçã: Avaliação Físico Química e Sensorial de Quinze Cultivares.** Ciências e Tecnologia de Alimentos, v. 24, n.3, p.347-352, jul.-set. 2004.