



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**LUÍS CARLOS ALENCAR DA SILVA**

**EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA ASSISTIDA POR ULTRASSOM NO  
PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA DE ABACAXI PÉROLA**

Fortaleza  
2012

LUÍS CARLOS ALENCAR DA SILVA

**EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA ASSISTIDA POR ULTRASSOM NO  
PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA DE ABACAXI PÉROLA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Processos Químicos e Bioquímicos

Orientadora: Profa. Dra. Sueli Rodrigues

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes

Fortaleza  
2012

- 
- S581e Silva, Luís Carlos Alencar da.  
Efeito da desidratação osmótica assistida por ultrassom no processo de secagem convectiva de abacaxi pérola / Luís Carlos Alencar da Silva. – 2012.  
96 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Fortaleza, 2012.  
Área de Concentração: Processos químicos e bioquímicos  
Orientação: Profa. Dra. Sueli Rodrigues.  
Coorientação: Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes.
1. Engenharia Química. 2. Conservação de alimentos. 3. Desidratação. I. Título.

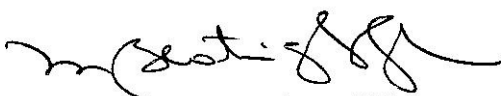
Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Química área de concentração Processos Químicos e Bioquímicos.

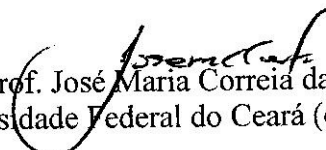
  
Luís Carlos Alencar da Silva

Dissertação aprovada em 24 / 02 / 2012.

### **BANCA EXAMINADORA**

  
Profa. Sueli Rodrigues (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará

  
Profa. Maria Beatriz de Abreu Glória  
Universidade Federal de Minas Gerais (examinadora)

  
Prof. José Maria Correia da Costa  
Universidade Federal do Ceará (examinador)

*Dedico este trabalho de pesquisa aos meus pais Antônio Carlos (in memoriam) e Rita Susan, e a meus irmãos Rogério e Ana Carla, pelo amor, apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio, minha fortaleza, em quem deposito toda minha confiança, agradeço pela benção da vida.

Aos meus pais, Antônio Carlos (*in memorian*) e Rita Susan pela educação, carinho e dedicação ao longo de minha vida.

Aos meus primeiros professores e principais responsáveis por minha formação pessoal e acadêmica, pelo amor, ajuda, confiança, carinho e incentivo.

Aos meus irmãos Rogério e Ana Carla, pelo apoio, carinho e compreensão.

À minha orientadora, Profa. Dra. Sueli Rodrigues, pelos valiosos ensinamentos, dedicação, paciência e amizade desde a graduação.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Fabiano André Narciso Fernandes, pela total atenção, dedicação, colaboração e sugestões.

Aos professores Maria Beatriz de Abreu Glória e José Maria Correia da Costa que gentilmente aceitaram o convite de participar desta banca de defesa, contribuindo assim para o enriquecimento deste trabalho.

À minha amiga Patrícia, pela amizade, ajuda sem limites e todos os bons momentos que passamos juntos.

À Diva Almeida, pela valiosa ajuda na preparação dos ensaios enzimáticos.

Aos colegas do Laboratório de Biotecnologia, Mariana, Alexandre, Cláudia, Cristiane, Simone, Ana Laura, Thatyane Vidal, Tatiane Maciel, Mayra, Rosy, Tiago, Soraya, Jonas, Imilena e Thalita pela amizade apoio e pela ótima convivência.

Às amigas Tatyane, Samara, Paula, Anaísa, Patrícia, Natália e Livia, por seus “ouvidos pacientes e abraços energizantes”, que me animaram e estimularam, especialmente nos momentos mais difíceis.

Ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará.

Aos professores, funcionário e colegas do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará.

Ao CNPq e ao INCT (Instituto Nacional de Frutos Tropicais), pelo auxílio financeiro para a realização da presente pesquisa.

A todos aqueles que de alguma forma participaram desta caminhada.

***Momentos na Vida***

*“(...) A felicidade aparece para aqueles que choram.  
Para aqueles que se machucam.  
Para aqueles que buscam e tentam sempre.  
E para aqueles que reconhecem a importância das pessoas  
que passam por suas vidas (...)”*

*Clarice Lispector.*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUÇÃO.....	12

### CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Abacaxi.....	15
1.1 A infrutescência.....	15
1.2 As variedades.....	16
1.3 Dados econômicos.....	17
2. Desidratação de frutas.....	18
2.1 Fundamentos da secagem.....	19
2.2 Fatores que influenciam na secagem.....	19
2.3 Teoria da secagem.....	21
3. O fenômeno de difusão mássica.....	24
3.1 Difusividade mássica molecular.....	25
4. Desidratação osmótica.....	27
5. Esévia.....	29
6. Ultrassom.....	31
7. Atividade enzimática.....	32
7.1 Protease.....	33
7.2 Polifenoloxidase.....	34
7.3 Peroxidase.....	35
8. Cor.....	36

### CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DO ULTRASOM, COMO PRÉ-TRATAMENTO, NA SECAGEM A AR E NA COR DO ABACAXI (*Ananas comosus*).

#### 1. MATERIAL E MÉTODOS

1.1. Obtenção das amostras.....	39
1.2. Pré-tratamento ultrassônico.....	39
1.3. Secagem.....	40
1.4. Difusividade efetiva da água.....	40
1.5. Estudo do efeito da potência das ondas ultrassônicas.....	41
1.6. Determinação de cor – Análise física.....	42
1.7. Análise Estatística.....	42

#### 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1. Efeito da aplicação do banho de ultrassom sobre a perda de água e perda de sólidos em Abacaxi.....	43
---	----



2.2. Efeito da ação do ultrassom tipo ponteira como pré-tratamento na secagem a ar de abacaxis ( <i>Ananas comosus</i> ).....	47
2.3. Influência da sonificação sobre a cor.....	52

## **CAPÍTULO 3 - SUBSTITUIÇÃO DE AÇÚCARES CALÓRICOS POR NÃO CALÓRICOS EM ABACAXIS (*Ananas comosus*) E EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA ASSISTIDA POR ULTRASSOM NA ANÁLISE DE COR DO MESMO**

### **1. MATERIAL E MÉTODOS**

1.1. Obtenção da amostra.....	55
1.2. Processo de Substituição de Açúcar por Adoçante (Estévia).....	55
1.3. Cálculo do valor energético do abacaxi pérola.....	57
1.4. Determinação de cor – Análise física.....	57

### **2. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

2.1. Perda de água e perda de sólidos em abacaxi submetidos à solução osmótica de 10 e 25% de estévia.....	57
2.2. Efeito do pré-tratamento em ultrassom na perda de calorias do abacaxi.....	61
2.3. Influência da solução osmótica de estévia, assistida ou não por ultrassom na cor do abacaxi Pérola.....	62

## **CAPÍTULO 4 - INFLUENCIA DO ULTRASSOM SOBRE ENZIMAS DETERIORANTES DO ABACAXI PÉROLA**

### **1. MATERIAL E MÉTODOS**

1.1. Avaliação da influência da temperatura e do tempo de sonificação sobre a atividade enzimática do abacaxi.....	65
1.2. Protease.....	65
1.3. Peroxidase (POD).....	66
1.4. Polifenoloxidase (PPO).....	66
1.5. Avaliação do efeito da densidade de potência do ultrassom de ponteira sobre a atividade enzimática no suco e na fruta do abacaxi Pérola.....	67
1.6. Análise Estatística.....	67

### **2. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

2.1. Efeito do ultrassom e da temperatura sobre a atividade enzimática do abacaxi pérola.....	67
---	----

2.2. Efeito da potência ultrassônica na atividade enzimática da fruta e do suco do abacaxi pérola.....	71
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>90</b>

## RESUMO

Apesar de sua importância como grande produtor mundial, o Brasil tem participação inexpressiva no mercado internacional de frutas. Parte da produção que não atende aos critérios de qualidade mínimos para exportação são perdidos após a colheita. Desta forma, estas frutas poderiam ser desidratadas para preservar parte da produção que não é consumida ou exportada, aumentando desta forma a vida de comercialização da fruta, reduzindo o peso para transporte e provendo maior renda ao produtor. A procura por alimentos de baixa caloria e adoçantes não calóricos vem aumentando a cada dia. Os indivíduos, que por diversas razões precisam substituir a sacarose por adoçantes não calóricos, procuram por produtos que sejam dotados de gosto e características próximas às da sacarose, em virtude disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do ultrassom e da desidratação osmótica como pré-tratamento ao processo de secagem, bem como a otimização deste para a produção de abacaxi (*Ananas comosus*) desidratado com valor calórico reduzido. Quando o abacaxi, na proporção 3:1 de água para fruta (p/p), sofreu ação do ultrassom de ponteira (200W), em água destilada como meio líquido, por 5 minutos, observou-se os maiores valores para, perda de água, perda de sólidos e difusividade efetiva. Nessa condição a difusividade do abacaxi pérola aumentou 2,8 vezes, quando comparado ao abacaxi sem pré-tratamento (*in natura*), levando a uma redução de 49,66% do tempo necessário para remover 90% da água inicial dessa fruta, reduzindo o tempo total da secagem. Com a otimização dos dados do processo (proporção água/fruta 3:1 (p/p), por 20 minutos sobre ultrassom) seguido de impregnação em solução de estévia a 10%, foi possível reduzir o valor energético do abacaxi em 17,97%, mantendo as cores da fruta *in natura* após processamento. O que torna a utilização do ultrassom uma eficiente tecnologia na redução de tempo de processamento de frutas secas e na participação deste no desenvolvimento de novos produtos.

## ABSTRACT

Despite its importance as a major world producer, Brazil has a minimal share in the international market of fruit. Part of the production that does not meet minimum quality standards for export is lost after harvest. Thus, these fruits could be dried to preserve part of production that is not consumed or exported, thereby increasing the shelf life of fruit, reducing shipping weight and provide more income to the producer. The demand for low-calorie foods and non-caloric sweeteners is increasing every day. Individuals, who for many reasons need to replace sucrose with non-caloric sweeteners, look for products that are provided with taste and characteristics similar to those of sucrose, as a result, the present study was to evaluate the effects of osmotic dehydration and ultrasound as pretreatment to drying process and the optimization for the production of dehydrated pineapple (*Ananas comosus*) reduced calorie. When the pineapple in the proportion 3:1 to fruit water (w / w), has the action of the ultrasound probe (200w) in distilled water as liquid medium for 5 minutes, there was the highest value, loss of water, loss of sound and effective diffusivity. In this condition the diffusivity of pineapple increased 2.8 fold when compared to non-pretreated pineapple (fresh), leading to a reduction of 49.66% of the time required to remove 90% of the fruit of the initial water, reducing the total drying time. By optimizing the process data (ratio water / fruit 3:1 (w / w) for 20 minutes on ultrasound) followed by impreguação stevia solution 10% was possible to reduce the energy value of the pineapple 17.97 %, keeping the colors of fresh fruit after processing. What makes the use of ultrasound technology in an efficient reduction of processing time of dried fruit and participation in the development of new products. Thus, the sonication figure as an alternative technology for obtaining reducing the processing time of fresh fruits of dried fruit and participation in the development of new products.

## INTRODUÇÃO

A produção de frutas no Brasil supera 43 milhões de toneladas por ano. A base agrícola da cadeia produtiva das frutas abrange 2,1 milhões de hectares, gera mais de 4 milhões de empregos diretos (2 a 5 pessoas por hectares) e um valor bruto da produção agrícola de R\$ 17,5 bilhões (IBGE, 2011). Conseqüentemente, o segmento frutícola está entre os principais geradores de renda, emprego e desenvolvimento rural (EMBRAPA, 2011).

A fruticultura é uma atividade com grande capacidade de geração de emprego e renda, e por isso apresenta significativa importância social, em particular em regiões mais pobres, que não contam com muitas alternativas para dinamizar a economia local.

O volume de investimentos necessários para viabilizar a produção de frutas é em geral, consideravelmente inferior ao de outros segmentos dinâmicos do agronegócio, o que torna o setor atraente como objeto de política pública voltada para a promoção do desenvolvimento local sustentável e para o setor privado.

As frutas são compostas basicamente de água (80%), açúcares, vitaminas e minerais, e em geral oferecem uma grande variedade de sabores e aromas agradáveis. São alimentos indispensáveis e, felizmente, no Brasil é possível encontrar os mais variados tipos de frutas durante a maior parte do ano.

O abacaxi no Brasil, por exemplo, é produzido em quase todas as regiões e em quase todos os Estados da federação, sendo que o valor da produção e a área colhida desse produto variam muito no contexto do país. O abacaxi “Pérola” é muito apreciado no mercado interno devido ao seu sabor exótico e ao alto teor nutricional. Em função da maior parte do consumo do abacaxi ser de forma *in natura*, a instabilidade dos preços destes é importante tanto para os consumidores quanto para os produtores.

O abacaxi é uma infrutescência muito apreciada em todos os países tropicais. Sua polpa é ligeiramente ácida, e muito refrescante. Ao lado das qualidades sensoriais, que o distinguem universalmente, há o alto valor dietético, comparável ao das melhores frutas tropicais.

No Brasil, entre a colheita e a mesa do consumidor, ocorrem perdas significativas das frutas, sendo esse desperdício causado principalmente por falhas no armazenamento e transporte. Algumas perdas são decorrentes do amadurecimento precoce dos frutos e de deficiências no pré e pós-colheita, que, em conjunto, representam milhões de toneladas por ano. Esse fato justifica a utilização de processos capazes de conservar tais produtos por um período maior.

Entre os produtos processados, as frutas desidratadas se destacam por serem, normalmente, de fácil obtenção, manterem as características do produto natural, dificultam o desenvolvimento de microorganismos que podem promover a deterioração da fruta fresca com redução da umidade, reduzem custos com transporte, embalagem, além de proporcionar menor área para armazenamento do produto.

As frutas desidratadas são ótimas fontes de vitaminas e minerais. Possuem alto teor calórico e, aliados a uma alimentação equilibrada, trazem enormes benefícios à saúde.

O mercado de alimentos desidratados no Brasil, ainda é muito restrito e é concentrado quase que 100% nos centros urbanos e nas classes sociais mais elevadas. Porém, sabe-se que o consumo desses alimentos é comum entre pessoas de todas as idades e classes sociais, que varia é a frequência. A tendência desse mercado é crescer, pois, de maneira geral, a produção de frutas secas no Brasil ainda é praticada artesanalmente (MATOS, 2007).

Normalmente na indústria, a desidratação é feita por meio de secagem, ou seja, retira-se água por meio do calor produzido artificialmente. As condições de temperatura, umidade e corrente de ar são acompanhadas com rigor para a maior qualidade do produto final.

A secagem é o método mais comum de preservação dos alimentos. É usado para reduzir a perda pós-colheita, agregando valor ao produto, pois representam uma fonte mais concentrada de calorias, fibras, açúcar natural e alguns nutrientes, além do fato, que podem ser diretamente consumidas ou utilizadas nos alimentos processados.

Convencionalmente, a secagem ao ar é um processo com energia intensiva e, conseqüentemente, dispendiosa, pois trata-se de um processo com simultânea troca de calor e transferência de massa acompanhada pela mudança de fase da água do produto.

Com isso, um pré-tratamento pode ser usado para reduzir o teor de água inicial do fruto ou pode ser usado, para modificar a estrutura do tecido de frutas, de maneira que, torna a secagem mais rápida. A desidratação osmótica é o mais relatado pré-tratamento usado antes da secagem ao ar.

A desidratação osmótica é um processo no qual, os alimentos são colocados em contato com soluções concentradas de sólidos solúveis, que possuem maior pressão osmótica e menor atividade de água. A complexa estrutura das células dos alimentos pode ser considerada uma membrana semipermeável e a diferença no potencial químico da água, entre o alimento e o meio osmótico, é a força motriz para a desidratação. Deste modo, ocorrem dois fluxos de transferência de massa em contracorrente: perda de água do alimento para a solução e transferência de soluto da solução para o alimento.

Um dos agentes que, poderiam ser utilizados na desidratação osmótica, seriam os adoçantes de fontes naturais. Que são conhecidos por apresentarem qualidades como: baixo valor calórico, não serem tóxicos e possuírem ampla estabilidade quanto ao calor e pH.

Entre esses adoçantes naturais, o único que pode ser produzido totalmente no Brasil é o adoçante da estévia, que é um edulcorante encontrado nas folhas de *S. rebaudiana*. Obtida de uma planta originária do Paraguai e sul do Brasil (CARDELLO, 1999; ZHANG *et al.*, 2000).

A procura por adoçantes não calóricos e alimentos de baixa caloria, vem aumentando a cada dia. Isso ocorre em virtude da constante preocupação com a saúde, em função dos riscos causados pela alta ingestão de sacarose, como obesidade, diabetes e cárie dental. Os indivíduos, que por diversas razões precisam substituir a sacarose por adoçantes não calóricos, procuram por produtos que sejam dotados de gosto e características próximas às da sacarose (CARDELLO, 1999).

Outro pré-tratamento a secagem bastante utilizado atualmente é o ultrassom, que pode ser empregado como uma tecnologia moderna, capaz de melhorar as condições de processamento de muitos produtos, atendendo às novas tendências de mercado.

A sonificação de frutas traz como vantagens, a minimização da perda de compostos de aroma, melhor homogeneização e maior economia de energia (CROSBY, 1982). Além de ser eficaz na inativação de enzimas responsáveis pelo escurecimento dos frutos (JANG e MOON, 2011).

Mediante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar os efeitos do ultrassom e da desidratação osmótica como pré-tratamento ao processo de secagem, bem como a otimização deste para a produção de abacaxi (*Ananas comosus*) desidratado com valor calórico reduzido.

## CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1. Abacaxi

#### 1.1. A infrutescência

O abacaxi é uma infrutescência da espécie *Ananas comosus* (L.) Merrill. Cada "gomo" do abacaxi corresponde a um fruto, originado de um ovário de uma flor. Estas flores são agrupadas de forma compacta em um eixo, de modo que seus ovários aderem-se uns aos outros, formando uma estrutura compacta.

O abacaxi pertence à família Bromeliaceae, sendo originário da América do Sul, provavelmente das regiões Sul e Sudeste do Brasil, Argentina e Uruguai (MELO *et al.*, 2004).

O abacaxizeiro é uma das fruteiras tropicais mais cultivadas, sendo também uma das culturas mais exigentes (GRANADA *et al.*, 2004). No Brasil, o abacaxi é produzido em quase todos os Estados, sendo que o valor da produção e a área colhida desse produto variam muito no contexto do país. Essa infrutescência, apresenta uma grande aceitação tanto pelos consumidores brasileiros quanto pelos estrangeiros, devido a suas características sensoriais.

Trata-se de planta semiperene, cujo ciclo produtivo pode variar de 14 a 24 meses, pois, além das condições climáticas, depende da época de plantio, do tipo e do peso das mudas utilizadas, e também das práticas culturais adotadas. É composta basicamente de duas fases, uma de formação ou improdutivo e outra de produção principal, com apenas uma infrutescência por planta (PONCIANO *et al.*, 2006).

O abacaxi não amadurece após a colheita, sendo, portando, necessária sua colheita após seu completo desenvolvimento fisiológico. A concentração de açúcares deve ser medida com um refratômetro e deve ser maior que 19° Brix no verão e 14,5° Brix no inverno. Essa infrutescência deve ser colhida em estágio de maturação diferente, de acordo com o seu destino e a distância do mercado consumidor.

Essa infrutescência apresenta polpa de cor amarela ou laranja-avermelhado, possuindo formato naturalmente cilíndrico ou ligeiramente cônico, constituído por 100 a 200 pequenas bagas ou frutinhos entre si sobre o eixo central ou coração, formado por varias flores que iniciam seu desenvolvimento na base do fruto e progride em espiral ate o ápice (THE, 2001).

Entre os componentes químicos do abacaxi, ressalta-se a presença de açúcares e de ácidos. Dos açúcares sobressai a sacarose, com teores variando de 5,9% a 12%, o que representa, nos frutos maduros, 66% dos açúcares totais em média. Destacam-se, também, a glicose e a frutose, com valores nas faixas de 1 a 3,2% e 0,6% a 2,3%, respectivamente (GONÇALVES; CARVALHO, 2000).

Os teores de açúcares, normalmente representados pela porcentagem de sólidos solúveis ou °Brix são variáveis entre cultivares e em uma mesma cultivar. Esta variação



pode também, ocorrer entre porções da polpa. Na infrutescência madura a porção apical (topo) apresenta porcentagem de açúcar em torno de duas vezes a da porção basal. Quando se considera um mesmo nível de altura, a porção mediana distingue-se, com teores de açúcares superiores aos apresentados pelo cilindro central e à porção subepidérmica (GONÇALVES; CARVALHO, 2000).

Quanto aos constituintes vitamínicos, aminoácidos e proteínas, estes apresentam-se em teores muito baixos, não podendo o abacaxi ser considerado como expressiva fonte vitamínica e/ou protéica (CUNHA *et al.*, 1999). O ácido ascórbico, com teores médios de 17 mg/100 mL, tem a função de conferir ao fruto certa resistência ao distúrbio fisiológico denominado escurecimento interno, o qual pode se tornar sério problema quando o armazenamento é feito em baixas temperaturas (GONÇALVES; CARVALHO, 2000).

A tendência atual de consumo de produtos *in natura* e da manutenção de uma dieta à base de frutas tem contribuído para o aumento do consumo de polpas e sucos de frutas tropicais e seus derivados (EMBRAPA, 2003). Atualmente, a produção brasileira é destinada, na maior parte, ao mercado interno, mas o aumento do consumo de abacaxi no mercado europeu tem levado empresas nacionais a traçar planos para investir em exportações (RODRIGUES, 2006).

MELO *et al.*, (2010) afirmam que o processamento dessa infrutescência, ocasiona alterações químicas, físicas e sensoriais, fazendo com que se tenha perda de vitaminas, havendo também escurecimento provocado por reações enzimáticas e não enzimáticas. Por esse motivo, a escolha dos equipamentos e dos métodos para processamento é fundamental para a manutenção de suas características de qualidade.

## 1.2. As variedades

As cultivares, do abacaxi, mais conhecidas no Brasil são: *Smooth Cayenne*, *Pérola*, *Perolera* e *Primavera*, sendo a *Perola* considerada insuperável para o consumo natural, graças a sua polpa suculenta e saborosa.

***Smooth Cayenne*:** É a cultivar mais plantada no mundo, correspondendo a 70% da produção mundial, conhecida também por abacaxi havaiano. É uma planta robusta, de porte semi-ereto e folhas praticamente sem espinhos. Essa infrutescência tem formato cilíndrico, com peso entre 1,5 e 2,0 Kg. Apresenta coroa relativamente pequena, casca de cor amarelo-alaranjada e polpa amarela, firme, rica em açúcares e de acidez elevada. É adequada para industrialização e consumo *in natura* (CUNHA, *et al.*, 1994).

***Pérola*:** Também conhecida como Pernambuco ou Branca de Pernambuco. Caracteriza-se por apresentar plantas eretas, folhas longas providas de espinhos, pedúnculos longos, numerosos filhotes e poucos rebentões. Essa infrutescência é cônica com casca amarelada, polpa branca, pouco ácida, suculenta, saborosa, peso médio entre 1 e 1,5 kg e apresenta coroa grande. Suscetível à fusariose e à cochonilha, porém menos que a *Smooth Cayenne* (DA CUNHA *et al.*, 1994).

**Perolera:** A planta caracteriza-se por apresentar altura em torno de 51 cm, folhas verdes claras, sem espinhos, com uma faixa prateada bem visível, pedúnculo longo, grande produção de filhotes e pouca produção de rebentões. A infrutescência é cilíndrica com peso médio de 1,8 kg, casca e polpa amarela. É resistente à fusariose (DA CUNHA *et al.*, 1994).

**Primavera:** A planta apresenta porte semi-ereto, folhas de cor verde-clara, sem espinhos nos bordos, produz em média oito filhotes e um rebentão. A infrutescência apresenta tamanho médio, forma cilíndrica, casca amarela quando maduro, polpa branca e peso em torno de 1,5 kg, com sabor agradável. É resistente a fusariose (DA CUNHA *et al.*, 1994).

Atualmente as cultivares Smooth cayenne e Pérola são as mais plantadas no Brasil, sendo que a Pérola apresenta polpa de coloração amarela pálida, quase branca, com fibras curtas e ricas em suco de baixa acidez. Essa coloração da polpa a limita para o mercado externo, pois a preferência é principalmente por frutos de polpa amarela (BRITO, 2001). Com isso a cultivar Pérola foi a escolhida para essa dissertação, a fim de agregar valor a essa cultivar visando o comércio externo, bem como o interno.

### 1.3. Dados econômicos

O abacaxi é muito consumido em todo o mundo, tanto ao natural quanto na forma de produtos industrializados. É uma infrutescência não climatérica, ou seja, deve estar no estágio ótimo de amadurecimento para consumo por ocasião da colheita, pois ao ser destacado da planta ele perde sua capacidade de amadurecimento e passa a apresentar queda na taxa respiratória.

O abacaxi apresenta grande importância econômica, não só pelas suas qualidades nutricionais e sensoriais, mas também por sua rentabilidade e importância social, devido ao fato seu cultivo exigir intensa mão de obra (CUNHA *et al.*, 1994).

Atualmente a produção brasileira é destinada, na maior parte, ao mercado interno, mas o aumento do consumo de abacaxi no mercado europeu tem levado empresas nacionais a traçar planos para investir em exportação (RODRIGUES, 2006).

A produção do abacaxi no Brasil, em 2009, foi de 1,47 bilhões de abacaxi, distribuída em uma área colhida de 57.131 hectares. Na safra de 2010, foi 1,48 milhões de frutas, em uma área colhida de 57.727 hectares, acréscimo de 1,07% (IBGE, 2011).

De 2003 a 2010, o Nordeste alternou-se com o Sudeste no posto de maior região produtora brasileira, com destaque para Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte. De 1990 até 2008, a produção somada destes estados, sempre representou pelo menos 78% da produção nordestina e 30% da produção nacional de abacaxi, que é direcionada majoritariamente para o consumo interno, já que apenas 1% é exportada, em razão da variedade plantada no Brasil, a Pérola, não ser a mais apreciada no exterior, que prefere a Smooth Cayene, pela possibilidade de aproveitamento agroindustrial (FAO, 2011; IBGE, 2011).

Em 2007, Ceará exportou 29.754.142 Kg, com receita de US\$ 15.839.988, enquanto o Rio Grande do Norte embarcou 391.265 Kg, com faturamento de US\$ 76.371. As variedades mais cultivadas no país são “Pérola” e “Jupi”, nas regiões Norte e Nordeste, e “Smooth cayenne” no Sudeste. No exterior tem maior aceitação as cultivares “MD2”, “Smooth cayenne”, “Golden” e “Ananás sweet”. Já o consumidor brasileiro prefere as cultivares “Pérola”, “Jupi” e “Smooth cayenne” (AGRIANUAL, 2008).

As exportações cearenses de abacaxi, atualmente, estão sendo realizadas pela empresa Del Monte, que tem 630 hectares plantados no município de Limoeiro do Norte, na região do Baixo Jaguaribe. O destino do abacaxi exportado é a União Européia, destacando-se a Itália, Alemanha, Holanda e Reino Unido (SEAGRI, 2004).

A redução das perdas em pós-colheita na cadeia produtiva de frutas é um constante desafio, considerando que as frutas apresentam alto teor de água e nutrientes e, após a colheita até a senescência, ocorrem várias transformações, o que pode causar maior predisposição a distúrbios fisiológicos, danos mecânicos e à ocorrência de podridões.

Desta forma, para a produção de frutos dentro dos padrões exigidos pelos diferentes mercados, esforços devem ser empenhados pelos vários segmentos do setor, no sentido de adotar cuidados nas fases de pré-colheita, colheita e pós-colheita dos frutos, assim como, no bom acondicionamento e transporte, mantendo condições ambientais adequadas, com tratamentos fitossanitários condizentes com a legislação vigente no Brasil e nos países importadores.

## **2. Desidratação de frutas**

Segundo RDC (Resolução de Diretoria Colegiada) nº 272 (Brasil, 2005), fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados que possibilitem a manutenção de, no máximo, 25% de umidade (g/100 g). O produto é designado simplesmente pelo nome da fruta que lhe deu origem, seguido da palavra “seca”. Os produtos preparados com mais de uma espécie de frutas terão a designação de “frutas secas mistas”, seguida do nome das frutas componentes. Pode também ser usada a palavra “passa”, em lugar de “seca”. Como exemplo pode-se citar a uva-passa, jaca-passa.

MATOS (2007) afirmou que o processamento de frutas desidratadas agrega valor ao produto, além de reduzir custos com transporte, embalagem e requerer menor área para armazenamento. Porém, a qualidade final do produto que será desidratado, depende da matéria prima utilizada, se as frutas utilizadas durante o processamento forem de boa qualidade, o resultado final será fruta seca saudável e saborosa. Ainda segundo o mesmo autor, as frutas secas mais utilizadas para desidratação são: ameixa, damasco, figo, uva, maçã, banana, pêssego, manga e abacaxi.

A secagem de produtos agrícolas consiste em remover grande quantidade de parte da água inicialmente contida no produto, a um nível máximo de umidade no qual possa ser armazenado em condições ambientais durante longos períodos, sem perda de

suas propriedades sensoriais (sabor e aroma). Tal efeito é conseguido pela criação de condições desfavoráveis ao desenvolvimento de microrganismo no produto e pela quase total eliminação de suas atividades metabólicas (FIOREZE, 2004).

A evolução e descobertas de novas tecnologias e metodologias aconteceram de forma a promover e otimizar o processo de secagem e a melhoria da qualidade do produto final (DOYMAZ e PALA, 2007).

Existem diversos métodos para desidratação de alimentos. O método de escolha depende do tipo de alimento a ser desidratado, do nível de qualidade que se deseja obter e de um custo que possa ser justificado.

Dentre os métodos mais comuns de desidratação, podem-se listar a secagem em cilindros rotativos (“drum drying”), por atomização (“spray drying”), secagem a vácuo, liofilização ou secagem pelo frio (“freeze drying”), cabines e túneis com circulação forçada de ar quente, leito fluidizado dentre outros. Alguns desses métodos são apropriados para alimentos líquidos ou pastosos e outros para alimentos em pedaços (FIOREZE, 2003).

## **2.1. Fundamentos da secagem**

O conhecimento do conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até sua superfície, possibilita fundamentar o fenômeno da secagem (KARATHANOS, 1999; MARTINS, PORTO e PINTO, 2004).

De acordo com LOPES *et al.*, (2000), o ar quente é mais empregado, por ser facilmente disponível e mais conveniente na instalação e operação de secadores, e o seu controle no aquecimento do alimento não apresenta maiores problemas. O princípio básico da secagem, quando se utiliza ar como meio, está no potencial de secagem do ar ambiente aquecido, que é forçado na massa do produto que serve a duas finalidades:

- conduzir calor para o produto: a pressão de vapor da água do alimento é aumentada pelo aquecimento do produto, facilitando, assim, a saída de umidade. Parte do calor do ar de secagem proporciona aumento da temperatura do produto (calor sensível), e parte fornece o calor necessário para a vaporização da água contida no produto (calor latente).

- absorver umidade do produto: aumentando a temperatura do ar ambiente, a sua umidade relativa diminui e, conseqüentemente, sua capacidade de absorver umidade aumenta.

## **2.2. Fatores que influenciam na secagem**

De acordo com DOYMAZ (2007), o mecanismo de secagem é estabelecido pela transferência de calor e massa da fruta, durante a secagem, que resulta na remoção

da umidade. Ocorre por vaporização térmica, com o auxílio de ar aquecido, que flui pela superfície da fruta. Essa vaporização térmica se processa numa temperatura inferior à de ebulição da água e depende, essencialmente, dos seguintes fatores: pressões de vapor d'água na fruta e no ar de secagem; temperatura e velocidade do ar; velocidade de difusão da água na fruta e a espessura e a superfície exposta para secagem.

a) Pressão de vapor d'água – trata-se da pressão parcial exercida pelo vapor d'água presente no ar. Essa propriedade varia em função das concentrações de água no produto e do vapor d'água no ar. A evaporação depende do diferencial entre vapor d'água existente na fruta e no ar; à medida que aumenta essa diferença aumenta-se a taxa de evaporação.

b) Temperatura – quanto maior a temperatura do ar, menor a sua umidade relativa e maior a quantidade de energia que o mesmo pode fornecer, melhorando, dessa forma, a condição de secagem. Levando-se em consideração somente esse fato, seria conveniente trabalhar com temperaturas de secagem bem elevadas. Porém, essa temperatura está limitada pela temperatura máxima que a fruta pode suportar, sem sofrer transformações indesejáveis na aparência e nas suas qualidades sensoriais e nutricionais.

c) Velocidade de difusão da água no produto – de modo geral, os materiais apresentam duas ou mais fases distintas de secagem: uma que ocorre a taxa de evaporação constante, quando a água livre evapora da superfície do material, e nas demais, a taxa de evaporação é decrescente e a secagem é controlada pelo mecanismo de difusão.

d) Velocidade do ar – a taxa de evaporação é diretamente proporcional à velocidade do ar de secagem, principalmente na fase inicial. Entretanto, ela não deve ultrapassar 3 m/s, pois exigiria a utilização de ventiladores de maior potência, com maiores custo de investimento e operacional, o que não é compensado pela redução proporcional de tempo de secagem. Isso porque, na maior parte do ciclo de secagem, a taxa de evaporação não depende da velocidade do ar e está limitada pela velocidade de difusão de água no interior para a superfície da fruta.

e) Espessura e superfície disponível - O fator superficial disponível está relacionado com a subdivisão da fruta, ou seja, quanto maior a superfície exposta, menor a espessura dos pedaços. Isso faz com que haja maior quantidade de água em contato com o ar para evaporação e uma maior facilidade na difusão da umidade interna do produto. Entretanto, a superfície e a espessura vão ser determinadas pela forma como deverá se apresentar o produto final, se inteiro ou fatiado.

DIONELLO (2009) investigou o efeito da impregnação de sacarose e de açúcar invertido na taxa de secagem por convecção de abacaxi e avaliou a adequação de nove modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem, e concluiu que as maiores taxas de secagem foram obtidas para amostras *in natura*; naquelas pré-desidratadas

osmoticamente, o aumento da concentração da solução, ocasionou a diminuição da taxa de secagem. O modelo de Wang e Singh foi o que melhor descreveu a secagem por convecção de coroas circulares de abacaxi.

RASTOGI e NIRANJAN (1998); RASTOGI e RAGHAVARAO, (2004) e PARKOJO *et al.*, (1996) estudaram a desidratação osmótica de abacaxi sem aplicação de ultra-som. Seus resultados mostram que o abacaxi perdeu 14% da água quando foi imerso em uma solução osmótica de 40 °Brix a 30 °C e 32% de água quando imerso em uma solução osmótica de 70 °Brix a 30 °C, após 30 min de tratamento. Também observaram que o abacaxi ganhou 10% de sólidos solúveis quando imerso por 30 min em uma solução osmótica de 40 °Brix a 30 °C e 35% de sólidos solúveis quando imersos no mesmo período em uma solução osmótica de 70 °Brix a 30 °C.

LOMBARD *et al.*, (2007) estudaram a desidratação osmótica como pré-tratamento a secagem do abacaxi nos seguintes aspectos: perda de água, ganho de sólidos e redução de peso e observaram que, o rendimento do processo osmótico foi melhorado através da impregnação a vácuo (200 mbar por 10 minutos), uma vez que a perda de massa foi menor. Também facilitou o processo de ganho de sólidos, especialmente na maior concentração e temperatura estudada. A perda de água aumentou principalmente com o aumento da temperatura e apresentou-se menos sensível a mudanças na concentração da solução. Já o ganho de sólidos aumentou, principalmente com aumento da concentração, sendo menos sensível ao aumento temperatura.

SAPUTRA (2001) estudou a desidratação do abacaxi pré-tratado com soluções de glicose e sacarose nas concentrações de 50, 60 e 70%, em três níveis de temperatura (30, 50 e 75 °C), sob os tempos de 3, 6 e 9 horas. O tipo de açúcar, concentração, temperatura e tempo de imersão, tiveram efeito significativo sobre a transferência de massa no abacaxi desidratado osmoticamente. A maior taxa de transferência de massa foi encontrada quando utilizou-se a solução de sacarose na concentração de 70%, a 50 °C por 9 horas de imersão. Observou também que, quando foi utilizada a solução de sacarose a amostra apresentou uma maior tendência a perder água e uma menor tendência a ganhar sólidos quando comparada à solução de glicose, que é uma molécula menos que a sacarose.

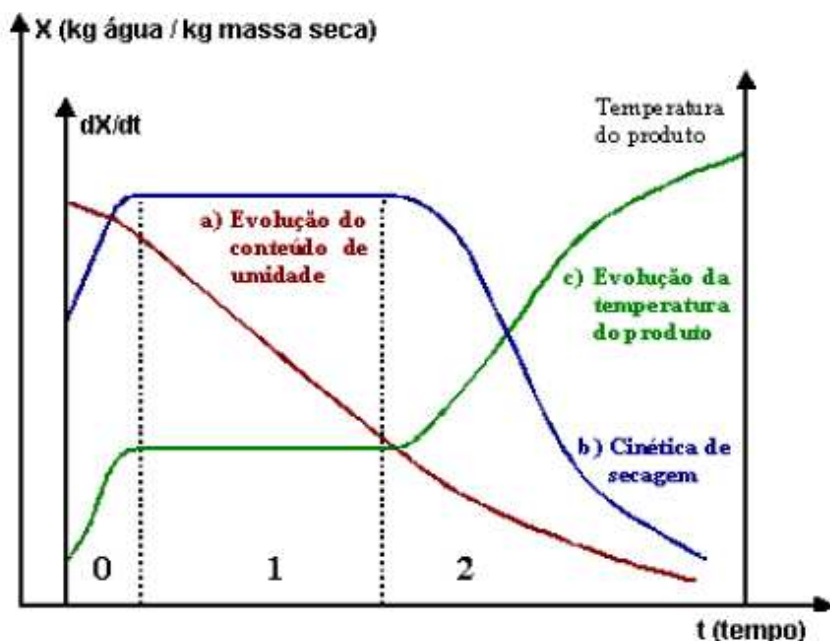
### **2.3. Teoria da secagem**

Durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais importantes desse transporte são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. O conhecimento do conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície possibilitam fundamentar o fenômeno da secagem. O fenômeno da secagem para materiais biológicos não pode ser generalizado, pois estes possuem características próprias e propriedades que podem sofrer importantes alterações durante a secagem (SANTOS, 2011).

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem. Com base nos fenômenos de transferência de calor e de massa, o processo de secagem pode ser dividido em três períodos, representados esquematicamente na Figura 1.

A curva (a) é a curva de secagem e representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, dado pelo conteúdo de umidade do produto em base seca ( $X$ ), em relação à evolução do tempo de secagem ( $t$ ). Esta curva pode ser obtida por pesagens sucessivas do produto durante a secagem em uma determinada condição de secagem. A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, isto é, a variação do conteúdo de umidade do produto por unidade de tempo ( $dX/dt$ ) em relação à evolução do tempo, isto é, a curva obtida pela diferenciação da curva (a).

Figura 1. Curvas típicas de evolução da temperatura e da umidade do produto durante a secagem.



Fonte: PARK; YADO; BROD, 2001.

A curva (c) representa a variação da temperatura do produto ( $T$ ) durante o tempo de secagem, isto é, a curva obtida pela medição da temperatura do produto durante o processo.

Cada uma dessas curvas pode ser dividida em três períodos característicos de acordo com o seu comportamento em função do tempo. O primeiro período (0) representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações prosseguem até o ponto em que a taxa de transferência de calor do ar para o produto seja equivalente à taxa de transferência de massa, isto é, de água do produto para a fase gasosa.

O segundo período (1) caracteriza-se pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. As taxas de transferência de massa e de calor são equivalentes e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver uma quantidade de água na superfície do produto suficiente para manter a evaporação, a taxa de secagem será constante. Um produto apresenta o período de taxa constante quando há um filme de água livremente disponível na superfície de secagem, num fenômeno similar à evaporação da água de um reservatório, com a temperatura do produto permanecendo igual à temperatura de bulbo úmido do ar de secagem (HAWLADER *et al.*, 1991).

No terceiro período (2), a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a taxa de transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da velocidade de migração da água do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura de bulbo seco do ar de secagem (HAWLADER *et al.*, 1991).

Quando o produto atinge a umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado. As regiões de taxa decrescente são indicativas de um aumento da resistência tanto para a transferência de calor quanto de massa, ocorrendo quando a superfície do alimento já não está totalmente molhada, tendo a umidade que percorrer o sólido até chegar à corrente de ar. Em alguns casos, podem ser observadas descontinuidades na curva de secagem, pois mudanças na estrutura do produto - endurecimento e/ou encolhimento - poderão interferir na evolução do processo (HAWLADER *et al.*, 1991).

Na desidratação de frutas e hortaliças, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda pode conter quantidades significativas de umidade. A partir desse ponto, o processo consome grandes quantidades de energia e os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados devido à elevação da temperatura (NIJHUIS *et al.*, 1996).

Este período é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. O Apêndice 1 contém a representação gráfica do período de queda da taxa de secagem, observado no presente estudo.

A complexidade dos fenômenos que ocorrem durante a secagem conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem: teoria difusional; teoria capilar; teoria de Luikov; teoria de Philip & de Vries; teoria de Krishner – Berger & Pei; teoria da condensação – evaporação (PARK; YADO; BROD, 2001).

No estudo da secagem, após a obtenção das curvas e da caracterização dos períodos de secagem, é interessante descrever o processo matematicamente, de forma que as equações obtidas possam ser utilizadas no próprio estudo da cinética de secagem ou em projetos de secadores. As duas primeiras teorias citadas acima são básicas e fundamentam as demais teorias. A partir da aplicação dessas teorias a dados obtidos experimentalmente, podem-se calcular os coeficientes de transferência resultantes.



A teoria difusional se apóia exclusivamente sobre a lei de Fick, a qual expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Para analisar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas, muitos autores têm utilizado a segunda lei de Fick para estimar o tempo médio de secagem durante o período de taxa decrescente. O modelo de Fick, dado pela Equação (1), representa a teoria da difusão da umidade como líquido ou vapor (RIZVI, 1995):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef} \nabla X) \quad (1)$$

Em que X é a umidade em base seca; t é o tempo de secagem e Def é a difusividade efetiva da água.

Como o fenômeno de migração é complexo, trabalha-se com a difusividade efetiva, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas para a segunda lei de Fick aplicam-se a sólidos de formas geométricas simples e constantes ao longo do processo. Considerando-se que o sólido seja uma placa plana com ambas as superfícies expostas ao ar de secagem, de difusividade constante, variação do volume desprezível e que o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra também seja desprezível, tem-se a seguinte solução analítica (CRANK, 1975; HAWLADER et al., 1991):

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

Em que M é a umidade adimensional, dada por  $\frac{(X - X_{eq})}{(X_0 - X_{eq})}$ ,  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio em base seca,  $X_0$  é a umidade inicial em base seca e L é a espessura da placa.

Diversos autores, como NICOLETI, TELIS-ROMERO e TELIS (2001), que estudaram a secagem de fatias de abacaxi fresco e com pré-tratamento osmótico, e HAWLADER *et al.*, (1991), que investigaram a secagem de tomates, utilizaram a segunda lei de Fick na modelagem dos dados experimentais, obtendo bons resultados no emprego dessa solução analítica no estudo destes materiais.

### 3. O fenômeno de difusão mássica

A transferência de massa pode ser definida como a massa em trânsito, resultado da diferença de concentração de uma espécie em uma mistura ou a migração de uma ou mais espécies químicas em um dado meio, podendo esse ser sólido, líquido

ou gasoso. O transporte das espécies químicas pode ser realizado por dois mecanismos: difusão e/ou convecção (MERCALI, 2009).

A convecção é o mecanismo de transferência de massa através de um fluido em movimento. A convecção forçada ocorre quando o escoamento de fluido é originado por ação de agentes externos (bombas, ventiladores, centrífugas ou ventoinhas). A convecção livre é originada quando uma força de empuxo atua sobre um fluido que possui gradientes de massa específicos. O efeito líquido é a força de empuxo que induz correntes de convecção livres (MERCALI, 2009).

A difusão é um processo de transporte que se dá em nível molecular, no qual há o movimento aleatório das moléculas devido à diferença de potenciais químicos das espécies. Esses movimentos aleatórios fazem com que, do ponto de vista macroscópico, seja transportado soluto da zona de concentração mais elevada para as zonas de concentração mais baixas. Esse fenômeno ocorre em líquidos e sólidos, assim como em gases. Entretanto, uma vez que a transferência de massa é altamente influenciada pelo espaçamento molecular, a difusão ocorre mais facilmente em gases do que em líquidos e mais facilmente em líquidos do que em sólidos (MERCALI, 2009).

De acordo com a abordagem adotada por INCROPERA e DE WITT (2008), a expressão para o cálculo da taxa de difusão é conhecida como Lei de Fick. Para a transferência da espécie A em uma mistura binária de A e B, a Lei de Fick pode ser escrita na forma vetorial como:

$$\mathbf{j}_A = -\rho D_{AB} \nabla m_A$$

$$\mathbf{J}_A = -CD_{AB} \nabla x_A$$

A grandeza  $j_A$  ( $\text{Kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) é o fluxo molar da espécie A, ou seja, é a quantidade de A que é transformada por unidade de tempo e por unidade de área perpendicular à direção da transferência e é proporcional à concentração mássica da mistura.  $\rho = \rho_A + \rho_B$  ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), e ao gradiente na fração mássica da espécie,  $m_A = \rho_A/\rho$ . O fluxo da espécie também pode ser avaliado na base molar, onde  $J_A$  ( $\text{kmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) é o fluxo molar da espécie A; ele é proporcional à concentração molar da mistura,  $C = C_A + C_B$  ( $\text{Kmol m}^{-3}$ ), e ao gradiente na fração molar da espécie,  $x_A = C_A/C$ .

A Lei de Fick possui uma constante de proporcionalidade que define uma propriedade importante do transporte: a difusividade mássica molecular.

### 3.1. Difusividade mássica molecular

A difusividade mássica molecular é definida como o quadrado da distância percorrida pelo soluto por unidade de tempo e seu valor depende do meio específico em que o processo ocorre. Em outras palavras, a difusividade mássica molecular,  $D_{AB}$  é a medida do número de moléculas A que são capazes de passar entre as moléculas B para eliminar o gradiente de concentração existente (MERCALI, 2009).

Nos gases, a difusividade molecular é da ordem de  $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  e pode ser perdida através da Teoria Cinética, sendo função da pressão, temperatura e do volume molecular de A e B (SMITH, 2003). As difusividades moleculares de alguns gases a pressão atmosféricas são listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Difusividade de gases em misturas binárias a pressão atmosférica e temperatura de 298 K.

<i>A-B</i>	$D_{AB} \times 10^3 (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$
Ar-hidrogênio	4,10
Ar-oxigênio	2,06
Ar-amônia	2,36
Ar-água	2,56
Ar-dióxido de carbono	1,64
Ar-etanol	1,19
Dióxido de carbono-nitrogênio	1,65
Dióxido de carbono-oxigênio	1,60

Fonte: Adaptado de Smith 2003.

A difusividade na fase líquida é consideravelmente menor, na ordem de  $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Nesse caso é proporcional à temperatura absoluta, inversamente proporcional à viscosidade dinâmica do líquido e dependente da concentração da solução (Smith, 2003).

Tabela 2 - difusividade de alguns componentes em solução aquosa diluída.

	<i>T (K)</i>	$D_{AB} \times 10^9 (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$
Oxigênio	298	2,10
Dióxido de carbono	298	1,92
Nitrogênio	298	1,88
Amônia	298	1,64
Etanol	298	1,24
Glicose	298	0,69
Sacarose	298	0,56
Ácido acético	298	0,56

Fonte: Adaptado de Smith, 2003.

Nos sólidos, a difusividade é da ordem de  $10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . a difusão através de uma matriz sólida é mais complexa do que a difusão através de um gás ou através de um líquido: é possível que a difusão através de uma matriz sólida não ocorra e o que acontece é a difusão no líquido contido dentro dessa matriz ou a difusão através da fase gasosa em um sólido poroso. Em muitos casos, a difusão ocorre como parte integrante de outros fenômenos e, sendo um processo lento, muitas vezes limita a taxa global de todo processo (VARZAKAS *et al.*, 2005).

#### 4. Desidratação osmótica

A desidratação osmótica é um processo no qual os alimentos são colocados em contato com soluções concentradas de sólidos solúveis que possuem maior pressão osmótica e menor atividade de água. A complexa estrutura células dos alimentos pode ser considerada uma membrana semipermeável e a diferença no potencial químico da água entre os alimentos e o meio é a força motriz para a desidratação.

Deste modo, como mostrado na Figura 2 ocorrem dois fluxos de transferência de massa em contracorrente: perda de água do alimento para solução e transferência de soluto da solução para ao alimento, (MERCALI, 2009).

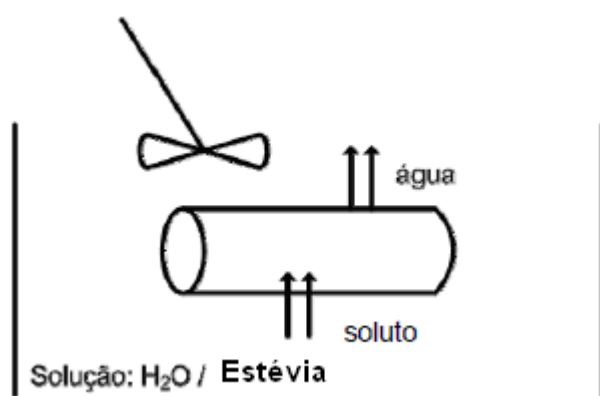


Figura 2. Transferência de massa em contracorrente.

Como a membrana responsável pelo transporte osmótico não é perfeitamente seletiva, outros solutos presentes nas células (vitaminas, minerais, açúcares, ácidos orgânicos) também podem se difundir para a solução osmótica (RASTOGI *et al.*, 2004).

A taxa de perda de água e incorporação de solutos depende de fatores como a natureza do material (espécie, variedade, grau de maturação, tamanho e forma) e das variáveis de processo (concentração, composição, temperatura da solução osmótica, tempo de contato, nível de agitação da solução, geometria da amostra e vazão volumétrica entre solução osmótica e produto). Um grande número de estudo esta disponível na literatura relativo a influencia desses parâmetros sobre a taxa de transferência de massa (RASTOGI e RAGHAVARAO, 1997; MAVROUDIS, GEKAS, e SJGHÖLM, 1998; SERENO, MOREIRA e MARTINEZ, 2001; NIETO, CASTRO e ALZAMORA, 2001; TELIS, MURARI e YAMASHITA, 2004).

Desidratação parcial e impregnação de soluto constituem as razoes típicas para a aplicação de tratamento osmótico em frutas e hortaliças como passo fundamental em uma grande variedade de sistemas de processamento (LAZARIDES, GEKAS e MAVROUDIS, 19997). A incorporação de sólidos solúveis (açúcares) aumenta o colapso e a temperatura de transição vítrea, resultando em produtos com melhor aparência e maior resistência estrutural (KAHAN *et al.*, 2008).

Essa técnica tem sido usada principalmente como pré-tratamento de alguns processos, como liofilização, secagem a vácuo e secagem por ar, a fim de melhorar a qualidade final, reduzindo custos energéticos ou mesmo para desenvolver novos produtos. Na literatura existem trabalhos que exploram este aspecto da utilização da desidratação como uma etapa previa destes processos. (FERNANDES *et al.*, 2006a, FERNANDES *et al.*, 2006b; LOMBARD *et al.*, 2008; RODRIGUES e FERNANDES, 2007).

Como a secagem por ar é um processo convencional onde ocorre simultaneamente a transferência de massa e calor, acompanhado por mudanças de fase, sendo um processo de custo elevado. Já a desidratação osmótica é reconhecida como sendo um método de desidratação parcial energeticamente econômico, uma vez que não há necessidade de uma mudança de fase.

Assim, um pré-tratamento como a desidratação osmótica pode apresentar, nas fases iniciais da desidratação, uma taxa mais elevada de perda de água, do que a taxa fornecida por processos de secagem. Podendo, desse modo, ser usada para redução do teor inicial da água, redução total do processamento e tempo de secagem com a conseqüente diminuição das perdas de nutrientes pelo calor (RODRIGUES e FERNANDES, 2007).

Outra aplicação importante é a utilização da desidratação osmótica para reduzir a atividade de água dos alimentos. Diminuindo a atividade de água, inibi-se o crescimento microbiano e o produto terá uma maior vida de prateleira (RASTOGI *et al.*, 2002).

A grande limitação do processo de desidratação osmótica tem sido estabelecer um processo em que essa tecnologia simples possa ser usada de forma a não gerar resíduos e sim co-produtos. A solução osmótica, se não reutilizada, gera um grande volume de efluente que precisa ser descartado dentro das leis ambientais, sem prejudicar o meio ambiente.

Uma possível alternativa para aproveitar essa solução, é utilizá-la para produção de aguardentes e licores, através de processos de fermentação e destilação. O fermentado pode ser por sua vez fermentado aceticamente para produção de vinagres finos com sabores e aromas das frutas. Outra possibilidade é o aproveitamento da calda açucarada para produção de frutas em calda (GOMES, CEREDA e VILPOUX, 2007).

O potencial de aplicação da desidratação osmótica é limitado, também, devido à grande incorporação indesejável de soluto nos produtos desidratados osmoticamente. A incorporação de grandes quantidades de soluto causa resistência adicional a transferência de massa da água e conduz a uma baixa taxa de desidratação na secagem complementar (KHIN, ZHOU e PERERA, 2006).

Nos últimos anos vários estudos têm sido realizados para melhor compreender a transferência de massa que ocorre durante desidratação osmótica de alimentos para modelar o mecanismo de processo (TOUPIN e LE MAGUER, 1989; MARCOTTE, TOUPIN e LE MAGUER, 1991; SPIAZZI e MASCHERONI, 1997; RASTOGI, ANGERSBACH e KNORR 2000). A transferência de massa, durante o tratamento osmótico, ocorre através de membranas celulares semipermeáveis que oferecem

resistência dominante à transferência de massa em materiais biológicos (TOUPIN e LE MAGUER, 1989).

A difusividade da água através do material biológico é considerada uma constante durante todo o processo, pois as mudanças no estado das membranas celulares não são consideradas na maioria dos estudos realizados. No entanto o estado da membrana celular pode mudar de permeabilidade parcial para permeabilidade total, ocasionando mudanças significativas na estrutura do tecido (RASTOGI, ANGERSBACH e KNORR, 2000; RASTOGI *et al.*, 2002).

Admiti-se que durante a desidratação osmótica uma camada superficial de 2-3 mm de profundidade se forma no produto e esta camada tem uma grande influência sobre a transferência de massa, favorecendo a perda de água, limitando a deposição de soluto e reduzindo as perdas de solutos solúveis (RASTOGI *et al.*, 2002).

RASTOGI, ANGERSBACH e KNORR (2000) propuseram um modelo que explica a diferença entre os mecanismos de remoção osmótica de água de um material homogêneo (convencional) para materiais biológicos celulares. Em um sistema convencional, assume-se que geralmente a taxa de difusão é constante e ocorre sob a influência de um gradiente de umidade uniforme. No entanto, isso não parece ser verdade, sobre tudo depois que as fases iniciais do processo terminam e a estrutura física do material começa a mudar com a evolução do processo de desidratação osmótica (RASTOGI *et al.*, 2002).

No mecanismo proposto para materiais biológicos celulares (RASTOGI, ANGERSBACH e KNORR, 2000) consideraram que, uma frente de desidratação se move durante a desidratação osmótica em direção ao centro do material. Isso resulta na desintegração da membrana celular na região desidratada. A água é transportada em três regiões diferentes (cada uma com as suas propriedades características): difusão de água do núcleo do material para frente de desidratação, difusão de água em toda a frente de desidratação e difusão de água através das células em contato com o meio envolvente.

Um dos possíveis agentes a desidratação osmótica, seriam os adoçantes de fontes naturais. Que por serem naturais, apresentam maiores qualidades que os sintetizados em laboratórios.

## **5. Estévia**

Entre os vários edulcorantes de origem natural, permitidos atualmente para serem utilizados como substitutos da sacarose, destaca-se o extrato de folhas de estévia, composto por glicosídeos terpênicos extraídos das folhas de *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni (TABELA 4). Esse extrato puro é um pó branco, formado por cristais adoçantes de estévia, denominado de esteviosídeo, também isento de calorias (WELLS, 1989).

A estévia é um subarbusto com propriedade edulcorante em suas folhas, devido à presença de glicosídeos diterpênicos com poder adoçante muito superior à sacarose. O teor de esteviosídeo aumenta até o início do florescimento, diminuindo continuamente

até a produção de sementes, sendo aconselhável, portanto, a colheita das folhas no início da abertura das flores (LIMA FILHO, 2004).

Tabela 3. Características do preparado comercial de estévia.

Produto	<b>STEVITA CRISTAL®</b>	
Definição	Stevita Cristal é um edulcorante intenso extraído das folhas da <i>Stevia rebaudiana</i> (Bert.) BERTONI. Seus principais componentes são: Steviosídeo e Rebaudiosídeo A, definidos como Steviol Glicosídeos pelo JECFA em Junho de 2004.	
Descrição	Pó branco, levemente amarelado, inodoro ou levemente característico, 300 vezes mais doce que a sacarose.	
Uso funcional	Agente adoçante	
	Steviosídeo	Rebaudiosídeo A
Nome químico	19-O-β-glucopiranosil-13-O[β-glucopiranosil (1,2)-β-glucopiranosil]-steviol	19-O-β-glucopiranosil-13-O[β-glucopiranosil (1,2)-β-glucopiranosil (1,3)-β-glucopiranosil]-steviol
Número C.A. S.	57817-89-7	58543-16-1
Fórmula química.	C <sub>38</sub> H <sub>60</sub> O <sub>18</sub>	C <sub>44</sub> H <sub>70</sub> O <sub>23</sub>
Massa molecular	804,88	967,03
Fórmula estrutural		
Ponto de fusão	198 °C	242 °C
Rotação específica	α <sub>25,D</sub> -39,3°	α <sub>25,D</sub> -22,0°
<b>Ensaio</b>		
Steviol Glicosídeo	95%	
Umidade	Máximo de 4%	
Cinzas	Máximo de 1%	
Densidade (g/mL)	0,140 a 0,200	
Metais pesados		
Arsênico	< 1,000 ppm	
Chumbo	< 1,000 ppm	

Fonte: STÉVIAFARMA INDUSTRIAL S/A, 2011.

O esteviosídeo possui a maior concentração, 5 a 15% da matéria seca foliar, e um poder adoçante, em média de 250 a 300 vezes superior à sacarose. O rebaudiosídeo, em menor concentração nas folhas, de 3 a 6%, é mais doce, com um poder adoçante, em média de 350 a 450. Quantidades menores de esteviosídeo também podem ser encontradas nas inflorescências e raízes. Existe uma correlação negativa entre o teor de esteviosídeo e rebaudiosídeo. Devido ao fato dos rebaudiosídeos serem mais doces que o esteviosídeo (1,2 a 1,5 vezes mais doce) e por apresentarem paladar mais agradável, é que o extrato bruto das folhas tem um paladar doce melhor que o esteviosídeo purificado (LIMA FILHO, 2004).



A planta é importante do ponto de vista social, econômico, ambiental e político, principalmente pela produção de dois edulcorantes, o esteviosídeo e o rebaudiosídeo, com maior concentração nas folhas. Estes edulcorantes são, em média, respectivamente, de 300 a 400 vezes mais doces que o açúcar da cana-de-açúcar. Além disso, não são metabolizados pelo corpo humano, possuindo propriedades excepcionais, como, serem não calóricos, antidiabéticos, antiglicêmicos, anticáries e outras, inclusive úteis para a produção de fitormônios bem mais baratos, além do uso do bagaço na alimentação animal (CRAMMER, 1986).

A cadeia produtiva é bastante promissora, tanto pelo lado agrícola, como pelo lado agroindustrial. Em termos do aproveitamento agroindustrial da estêvia, existem no mundo 15 fábricas de processamento, sendo 13 no Japão, uma na China e uma no Brasil. A fábrica existente no Brasil tem plenas condições de absorver a matéria-prima produzida no país, visando a transformação em produtos para consumo interno e externo (VALOIS, 2002).

FERNANDES e RODRIGUES (2007); FERNANDES *et al.*, (2008a, 2008b), relataram perdas de sólidos solúveis por várias frutas que sofreram o efeito da desidratação osmótica assistida por ultrassom. Da mesma forma, GARCIA-NOGUEIRA (2009) relatou perdas de sólidos solúveis em morangos, de aproximadamente 10% do peso inicial do fruto quando estes foram submetidos à aplicação do ultrassom como pré-tratamento em água destilada por 45 min.

## 6. Ultrassom

A vantagem de usar o ultrassom é que o processo pode ser realizado na temperatura ambiente e nenhum aquecimento é exigido, reduzindo a probabilidade de degradação do alimento (MASON, 1998).

A tecnologia de ultrassom é baseada em ondas mecânicas, em uma frequência acima do limiar de audição humana ( $> 16$  kHz), que viajam através do volume de um material com uma velocidade característica da onda e do material onde está se propagando. No processamento de alimentos, o ultrassom é classificado, de acordo com a intensidade das ondas ultrassônicas, em ultrassom de baixa intensidade ( $< 1$  W/cm<sup>2</sup>) e ultrassom de alta intensidade (geralmente na faixa de 10 – 1000 W/cm<sup>2</sup>) (SORIA e VILLAMIEL, 2010).

Segundo FUENTE-BLANCO (2006); TARLETON e WAKEMAN (1998), as ondas ultrassônicas podem causar uma série rápida de compressões e expansões de uma maneira bem similar a esponjas quando são espremidas e liberadas repetidamente. As forças envolvidas por este mecanismo podem ser mais elevadas do que a tensão superficial que mantém a umidade dentro do material criando os canais microscópicos e podendo remover a umidade mais fácil.

Durante a etapa de compressão a pressão é positiva e na etapa de expansão a pressão negativa, resultando em “vácuo”. Este ciclo de compressão-expansão gera cavidades e os ciclos periódicos causam o aumento do tamanho das cavidades. Ao atingir um tamanho crítico, a cavidade implode, liberando grande quantidade de calor e



pressão em curto período de tempo e em pontos localizados (O'DONNEL *et al.*, 2010; SUSLICK, 1989).

As bolhas de cavitação resultam em micro correntes de fluxo que, associado ao gradiente de alta velocidade e de cisalhamento, alteram as características do meio. Outro efeito resultante das bolhas de cavitação é a quebra das moléculas de água (sonólise), gerando radicais livres altamente reativos que podem modificar outras moléculas (SORIA e VILLAMIEL, 2010).

O uso do ultrassom na indústria alimentar é relativamente novo e poucos estudos o utilizam (MASON *et al.*, 1996; JUAREZ *et al.*, 1999; FUENTE-BLANCO *et al.*, 2006; GALLEGO; ZHENG e SUN, 2006). A espectroscopia de ultrassom baseia-se no princípio físico de que o movimento de qualquer onda é afetado pelo meio por onde ela está se propagando (NELLIGAN, 2003). Dessa forma, a propagação das ondas sonoras em um determinado meio fornece informações sobre ele pela análise da transmissão ou da reflexão dos sinais gerados (BHARDWAJ, 2002).

Essa técnica emprega ondas sonoras de alta frequência que imprimem forças intermoleculares aos materiais em teste. As oscilações de compressão ou descompressão das ondas ultrassônicas causam oscilações no arranjo molecular da amostra, que responde com forças de atração ou repulsão intermoleculares (BUCKIN *et al.*, 2003).

As amplitudes de deformação nas ondas ultrassônicas empregadas na determinação são extremamente pequenas, tornando a técnica não destrutiva, o que representa uma oportunidade única na caracterização de produtos alimentícios de base líquida, incluindo amostras opacas como o leite (BUCKIN *et al.*, 2003; DUKHIN *et al.*, 2003; NELLIGAN, 2003).

De acordo FERNANDES *et al.*, (2007), o uso do ultrassom como pré-tratamento também aumenta a difusividade efetiva de água do fruto levando à aceleração do ar de secagem da fruta. Esse fenômeno pode acontecer devido ao processo de formação de micro-canais durante a aplicação do ultrassom. O aumento da difusividade efetiva de água no ar etapa de secagem faz com que o uso do ultrassom como um pré-tratamento de uma metodologia interessante complementar ao ar clássico de secagem.

## **7. Atividade enzimática**

As frutas *in natura* são produtos que, deterioram-se rapidamente, perdendo qualidade, especialmente cor e textura, como resultado da liberação de enzimas endógenas, aumento da taxa de respiração e crescimento microbiano, levando também a uma redução da vida útil do mesmo (WILEY, 1997). Estas alterações indesejáveis na qualidade são aceleradas por danos mecânicos às células, causados pelas operações de descasque e corte, o que permite o contato das enzimas com o substrato (DURIGAN & CASSARO, 2000).

A manutenção da cor natural, também, é um dos fatores importantes que determinam a qualidade em frutos e hortaliças (GORNÝ *et al.*, 1999). Modificações na

coloração durante a colheita, pós-colheita, processamento e armazenamento causam queda na qualidade, quando não controlados, tornando-se um grande desafio na elaboração desses produtos.

O escurecimento enzimático é um fenômeno amplamente difundido que induz severas mudanças de cor, sabor indesejável e perdas nutricionais (GIRNER *et al.*, 2002).

A avaliação enzimática pode ser utilizada para o monitoramento da vida útil e da qualidade de frutos e hortaliças, algumas de maneira confiável. As enzimas usualmente apresentam elevada especificidade por seus substratos e as reações ocorrem dentro de curto espaço de tempo, o que torna os métodos enzimáticos práticos e com menor margem de erro que os métodos químicos. As limitações, em alguns casos, baseiam-se no custo elevado para uso em análises de rotina, pela sua instabilidade e dificuldade na purificação, bem como por serem métodos destrutivos e lentos (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Algumas das reações oxidativas e de biodegradação, causam mudanças indesejáveis no gosto e aroma dos frutos, perda de nutrientes e escurecimento. A acumulação dos produtos das reações das peroxidases pode ocorrer durante a senescência dos frutos

As enzimas peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) possuem papel fundamental no desenvolvimento das plantas e na qualidade dos frutos. Estas enzimas estão fortemente relacionadas com mecanismos de defesa em relação a patógeno, vários estresses abióticos e desordens fisiológicas. O escurecimento interno da polpa do abacaxi é um distúrbio fisiológico, na qual restringe severamente a exportação e está inteiramente ligado a composição química do fruto (SMITH, 1983; PAULL, 1985; THÉ *et al.*, 2001). Esse distúrbio fisiológico dá-se principalmente pela oxidação enzimática dos fenóis e eventual polimerização não enzimática das quinonas formadas em taninos ou melaninas (HOPKINS, 1967; NICKERSON e ROSINVALLI, 1980).

A POD e a PPO têm sido consideradas as principais enzimas responsáveis pela deterioração da qualidade em muitos frutos. Estas enzimas podem participar de um grande número de reações oxidativas e de biodegradação (VALDERAMA *et al.*, 2001). Por esse motivo, estas enzimas e a protease foram alvo de estudo do deste trabalho.

## **7.1. Protease**

Dentre os constituintes da célula, as enzimas são um dos que têm despertado a atenção dos pesquisadores, quer pela sua função, acelerando ou retardando reações químicas termodinamicamente possíveis, quer pela possibilidade de seu uso para fins tecnológicos (MELO *et al.*, 1997).

As proteínas são polímeros que compreendem uma seqüência de dezenas ou centenas de resíduos de aminoácidos (monômeros) ligados por meio de ligações peptídicas. Algumas enzimas são capazes de quebrar ligações peptídicas de cadeias protéicas, sendo denominadas assim de proteases (LIMA *et al.*, 2008).

Em vegetais, as enzimas proteolíticas estão envolvidas nos processos de amadurecimento, germinação, diferenciação, morfogênese, morte celular, resposta de defesa de plantas e processos de estresse oxidativo, entre outros. Algumas enzimas envolvidas no amadurecimento de frutos, como a ficina (figo), a papaína (mamão) e a bromelina (abacaxi), podem ser extraídas em grandes quantidades e representam por isso uma significativa importância econômica (LIMA et al., 2008).

A Bromelina (EC 3.4.22.4) é uma enzima proteolítica encontrada no abacaxizeiro e em outras espécies de plantas da família Bromeliaceae. Está presente na fruta e na planta, principalmente no caule. Em 1891, foi estabelecida a existência da bromelina como uma enzima protéica digestiva por MARCANO, químico venezuelano, estudando sua atividade a partir do suco de abacaxi (BALLS *et al.*, 1941). Os estudos envolvendo a produção de bromelina em escala industrial concentram-se na sua obtenção a partir do talo do abacaxizeiro, por este ser um subproduto de sua exploração.

A bromelina está incluída na classificação das hidrolases. As proteinases são todas as hidrolases capazes de romper a ligação peptídica, separando proteínas e aminoácidos. A especificidade das proteinases é ampla e classificada de acordo com seu sítio ativo em 3 grupos principais: serina proteinase, ácido aspártico proteinase e cisteína proteinase, sendo que a bromelina se enquadra neste último grupo (SANTOS, 1995).

Segundo ROWAN *et al.*, (1990), existem dois tipos distintos de bromelina do abacaxi, a do talo subterrâneo e a da fruta, que diferem basicamente na sequência de aminoácidos de sua composição, sendo imunologicamente diferentes, certamente produtos de genes distintos. A bromelina produzida e utilizada industrialmente é uma mistura das duas.

## **7.2. Polifenoloxidase**

A Polifenoloxidase (EC 1.14.18.1) é uma enzima intracelular encontrada praticamente em todos os tecidos vegetais. Sua atividade pode variar em função da espécie, variedade, estágio de maturação, condições de cultivo e mesmo com as práticas de manuseio e armazenamento adotados. Estima-se que 50% das perdas de frutos tropicais no mundo devem-se à sua ação, que resulta na formação de pigmentos escuros, proporcionando mudanças indesejáveis na aparência e nas características organolépticas dos produtos (FENEMA, 1993; WHITAKER, 1994).

Estas oxidam um amplo grupo de fenóis sem a necessidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, também estão envolvidas na rota biossintética dos fenilpropanóides. Possuem a capacidade de produzir quinonas, por meio da oxidação de fenóis. A atividade da polifenoloxidase pode ser acrescida ou inibida em algumas plantas por estresses como danos físicos, toxicidade ao nitrogênio e ataque de patógenos (CAMPOS *et al.*, 2004). Em geral, a PPO é elevada em tecidos danificados e apresenta grande importância para as plantas, pois está envolvida nos mecanismos de defesa e na senescência (AGRIOS, 2005).

As polifenoloxidasas apresentam cobre em sua estrutura molecular, atividade principalmente para o catecol e catalisam reações de oxidorredução em que a própria PPO funciona como receptor de elétrons.

Os fenóis encontrados na polpa de frutas são oxidados pelas polifenoloxidasas, dando origem a quinonas, que se polimerizam e formam os compostos de coloração escura, denominados melanoidinas (GIRNER *et al.*, 2002).

### 7.3. Peroxidase

A peroxidase (E.C.1.11.1.7., doador H, O, oxidoreductase), esta envolvida em uma variedade de processos fisiológicos tal como a biosíntese do etileno, desenvolvimento de célula, integridade da membrana, resposta a ferimento, resistência a doença, além de desordens fisiológicas (ABELES e BILES, 1991). As propriedades da peroxidase e seus papéis fisiológicos em pós-colheita de frutas e vegetais foram analisados por diversos autores (RHOTAN e NICOLAS, 1989). A enzima esta envolvida também em mudanças deterioráveis no sabor, na textura e na cor de frutas e hortaliças crus e processados (CLEMENTE e PASTORE, 1998).

A peroxidase pode causar mudanças indesejáveis no aroma, gosto, cor, textura e também a perda de nutrientes (BRAVERMAN, 1967; HAARD, 1977; HEMEDA, 1990 e WHITAKER, 1994). Pode participar da destruição de vitamina C, catalizar o branqueamento dos carotenóides na ausência de ácidos graxos insaturados e a descoloração de antocianinas. Catalisa a reação de degradação de ácidos graxos insaturados, produzindo voláteis que alteram o sabor (RICHARDSON *et al.*, 1985).

A POD enzima comumente envolvida em respostas de defesa de plantas é uma glicoproteína capaz de catalizar a produção de  $H_2O_2$ , a formação de lignina, incorporação de glicoproteínas à parede celular, oxidação do ácido indol-3-acético, cicatrização de ferimentos, oxidação de fenóis, defesa contra patógenos e aumento de reguladores de crescimento. Alterações nos seus padrões enzimáticos estão relacionadas com a defesa local e sistêmica da planta. Como outras enzimas, a peroxidase atua sobre as espécies ativas de oxigênio livrando a célula de seu efeito deletério. A alteração de sua atividade é um indicio de alteração do metabolismo da planta, como na formação da lignina pela polimerização de fenóis (LABANCA, 2002; CAVALCANTI *et al.*, 2005).

A peroxidase catalisa quatro tipos de reações: peroxidação, oxidação, catalítica e hidroxilação. Para substratos fenólicos, somente as reações de peroxidação são importantes (RANIERI *et al.*, 2001). Além disso, a ação da enzima objetiva principalmente controlar o nível de peróxidos gerados em quase todos os compartimentos celulares e na ausência de um doador de hidrogênio, a peroxidase converte peróxido de hidrogênio em  $H_2O$  e  $O_2$  (TIJSKENS *et al.*, 1997), sendo essa reação mais lenta que a de peroxidação (WHITAKER, 1994).

É uma enzima associada a reações de deterioração oxidativa em frutas e vegetais e produtos processados (HAMMER, 1993). Na reação enzimática o peróxido de hidrogênio ou outro peróxido orgânico, como o peróxido de metila ou o etil hidrogênio, é reduzido, enquanto que um doador de elétrons (AH) é oxidado. O doador

de elétrons pode ser ascorbato, fenóis, aminas ou outros compostos orgânicos (VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1981; ROBINSON, 1991). Em muitos casos o produto da oxidação é colorido e serve como base para a determinação colorimétrica da atividade da peroxidase.

## 8. Cor

A cor é um atributo de importância fundamental no julgamento da qualidade de um alimento, uma vez que a apreciação visual é o primeiro dos sentidos a ser usado, sendo, portanto, uma característica decisiva na escolha e aceitação do produto (LIMA *et al.*, 2007). O impacto visual gerado pela cor pode, muitas vezes, se sobrepor ao causado por outros atributos de aparência e odor. Pode ainda, apresentar efeito na própria intensidade com que é percebido o sabor (CARDOSO *et al.*, 1997).

Portanto, a cor dos alimentos, expressa pelos parâmetros estudados de colorimetria, indica o índice de transformação natural dos alimentos frescos assim como as mudanças ocorridas no processo industrial (PINHEIRO e VILAS BOAS, 2005).

Com o intuito de obter a caracterização objetiva da cor, a CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), em 1976, estabeleceu o sistema Lab (lightness, redness-greenness, yellowness-blueness), em que uma cor particular tem uma única localização, especificada numericamente em um espaço tridimensional, definido pelas coordenadas retangulares, luminosidade ( $L^*$ ), componente vermelho-verde ( $a^*$ ), componente amarelo-azul ( $b^*$ ) e pelas coordenadas cilíndricas do mesmo espaço, croma ou intensidade cromática ( $c^*$ ) e tonalidade cromática (hue) (ABNT, 1992; OLIVEIRA *et al.*, 2003).

A luminosidade ( $L^*$ ) varia de 0 para o preto, até 100 para o branco. Valores positivos de  $a^*$  medem vermelho e  $a^*$  negativo medem verde. Já o parâmetro  $b^*$  positivo é uma medida do amarelo e o  $b^*$  negativo do azul (Figura 3) (MARQUES, 2008).

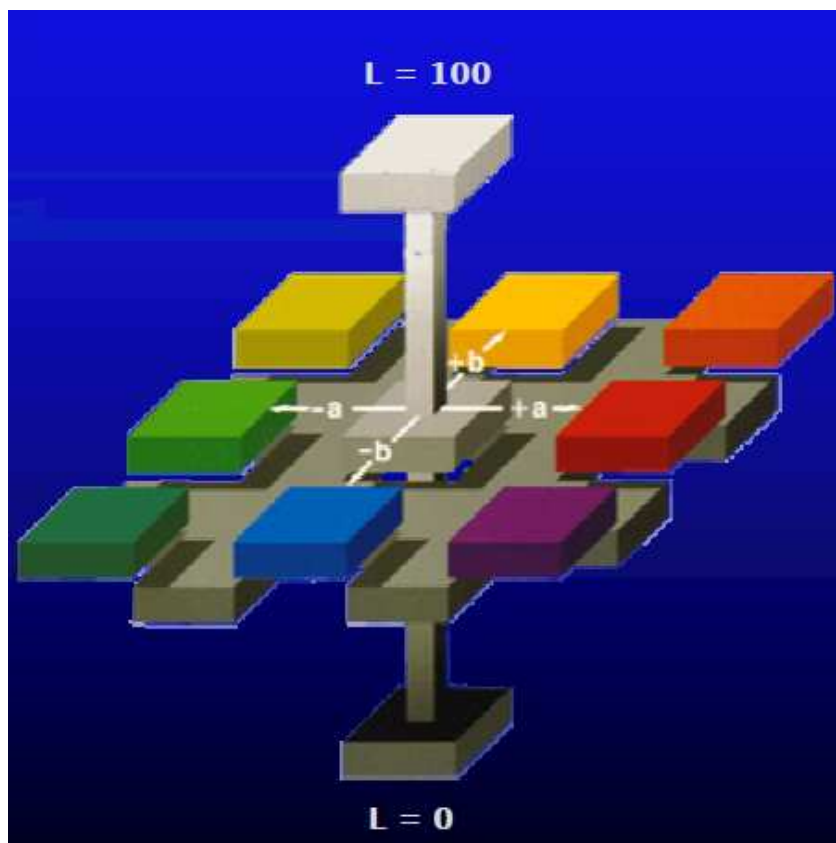


Figura 3: Representação gráfica dos valores L, a e b.  
Fonte: Hunterlab (2001).

MELO *et al.*, (2011) afirmam que o processamento de frutas ocasiona alterações químicas, físicas e sensoriais, fazendo com que se tenha perda de vitaminas, havendo também escurecimento provocado por reações enzimáticas e não enzimáticas. Por esse motivo, a escolha dos equipamentos e dos métodos para processamento é fundamental para a manutenção de suas características de qualidade.

Segundo LOZANO e IBARZ (1997), a deterioração da cor em frutas pode ser causada por vários fatores como reações enzimáticas e não enzimáticas, entretanto, as frutas são menos sensíveis que as verduras à deterioração de cor, quando submetidas a temperatura de desidratação osmótica.

Segundo GRANADA *et al.*, (2004) O abacaxi pérola apresenta um alto conteúdo da enzima bromelina, porém são poucos os estudos que comprovem e informem as características desta enzima para esta cultivar.

O escurecimento interno da polpa do abacaxi é um distúrbio fisiológico que se dá principalmente, pela oxidação enzimática dos fenóis e eventual polimerização não enzimática das quinonas formadas em taninos ou melaninas que irão influenciar na qualidade final do abacaxi (SMITH, 1983; PAULL e ROHRBACH, 1985; BROTEL CARVALHO, 1993).

FORNI *et al.*, (1997) não observaram alterações significativas nos valores de  $a^*$  e  $b^*$  após a secagem de damascos pré-desidratados osmoticamente; esse fato foi atribuído à ação antiescurecimento enzimático do ácido ascórbico, aplicado antes da

desidratação, o qual sofreu severa redução durante o processo de secagem. A vitamina C se oxida e reduz as o-quinonas, formadas pelas polifenoloxidasas em di-hidroxifenóis que possuem menor intensidade e cor.

PHOTON *et al.*, (2001), desidratando osmoticamente maçãs e secando-as em micro-ondas verificaram altos valores de L\* quando utilizavam temperaturas acima de 50 °C e pré-tratadas osmoticamente antes da secagem em micro-ondas apresentavam um menor escurecimento que aqueles sem esse processamento.

KROKIDA *et al.*, (2000), observaram maior estabilidade da luminosidade durante a secagem de amostras de maçãs e de bananas pré-tratadas osmoticamente em relação aquelas não desidratadas previamente.

## **CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DO ULTRASOM, COMO PRÉ-TRATAMENTO, NA SECAGEM A AR E NA COR DO ABACAXI (*Ananas comosus*)**

O uso do ultrassom como pré-tratamento para a secagem foi investigado. A influência do tempo de processamento no ultrassom em relação à perda de água (WL), perda de sólidos (SL) e difusividade foi avaliado. O processo integrado (ultrassom + secagem a ar) foi otimizado procurando-se pela condição operacional que minimizasse o tempo total de processamento. A densidade de potência também foi investigada para se atingir esse efeito.

### **1. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **1.1. Obtenção das amostras**

Foi utilizado abacaxi (*Ananas comosus*) cultivar Pérola, obtida em supermercado local (Fortaleza/Brasil). Todas as frutas foram adquiridas de um único local de venda. As frutas foram selecionadas de acordo com tamanho, formato e características visuais de maturação, fornecendo amostras padronizadas.

As frutas foram lavadas em água corrente, cortadas em rodela com um centímetro de espessura, desprezando-se as extremidades da fruta e, por fim, cortados em quatro partes iguais, obtendo-se amostras com forma semelhante a triângulos, mantendo 1 centímetro de espessura.

As amostras foram pesadas individualmente em balança semi-analítica e, posteriormente foram realizadas medições instrumentais de cor, utilizando-se de colorímetro da marca Konica-Minolta.

#### **1.2. Pré-tratamento ultrassônico**

O conjunto experimental de três amostras foi colocado em béquer de 250 ml e imerso em água destilada nas razões 3:1, 4:1, 6:1 e 10:1 de água:fruta (p/p), sendo assim submetido a ondas de ultrassom por 10, 20 e 30 min. Os experimentos foram realizados em triplicata.

Os experimentos foram conduzidos à temperatura de 30°C em um banho de ultrassom de 40 kHz, 135 watts de potência e volume útil de 2,7 L (Unique modelo USC1400), sem agitação mecânica. O aumento de temperatura não foi significativo (menos que 2°C) em 30 minutos de tratamento.

Um grupo controle foi estudado separadamente sem aplicação de ultrassom, para fins de comparação do efeito deste sob as demais amostras. Este grupo foi denominado massa seca (MS).



Após o processo de sonificação, as amostras foram colocadas sobre papel absorvente para a retirada do excesso de água superficial, e, em seguida, pesadas.

### 1.3. Secagem com circulação de ar

Ao final do pré-tratamento ultrassônico, os frutos pesados foram acondicionados em placas de Petri devidamente identificadas, seguindo para uma estufa (Tecnal TE – 394/1), com circulação e renovação de ar, a 60°C. Essa temperatura foi definida porque é a mais alta temperatura em que há baixa degradação dos constituintes nutricionais da fruta.

Durante cinco horas de experimento foi realizada a pesagem das amostras. Sendo que, a cada hora um conjunto de amostras era retirado da estufa para verificação da perda de massa e medição instrumental da cor das amostras. Ao final da secagem (48 horas), foram realizadas as últimas pesagens e medições de cor, sendo todas as análises realizadas em triplicata e o resultado expresso como a média dos valores incluindo o desvio padrão.

Terminado o processamento, os cálculos de perda de água (WL), ganho de sólidos (SL) foram realizados, de acordo com as Equações (1) e (2).

$$WL(\%) = \frac{(w_i \cdot X_i - w_f \cdot X_f)}{w_i} \cdot 100 \quad (1)$$

$$SL(\%) = \frac{[w_i \cdot (1 - X_i) - w_f \cdot (1 - X_f)]}{w_i \cdot (1 - X_i)} \cdot 100 \quad (2)$$

### 1.4. Difusividade efetiva da água

Admitiu-se a transferência de massa e difusão controlada com fluxo de líquido no interior do fruto em conformidade com a segunda lei de Fick da difusão. Apenas o período de queda das taxas (período de transferência de massa e difusão controlada) foi considerado, pois durante os experimentos não foi observado período de taxa constante. Sendo assim os dados experimentais foram utilizados para calcular a difusividade da água no fruto de acordo com uma simplificação da segunda lei de Fick, considerando um longo tempo de secagem (Perry & Green, 1999).

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{2\pi}{\delta^2} \cdot D \cdot (H - H_{eq}) \quad (3)$$

Em que,  $D$  é a difusividade efetiva da água ( $\text{m}^2/\text{min}$ ),  $H$  a teor de umidade,  $H_{\text{eq}}$  a umidade de equilíbrio,  $t$  o tempo (min), e  $\delta$  a espessura do fruto (m).

Para obter a difusividade efetiva da água e o tempo de secagem necessário para reduzir em 90% a umidade inicial do abacaxi, foi utilizado um software desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Análises e Desenvolvimento de processos (PGEQ/UFC), que utiliza a técnica de estimativa de parâmetros usando o método de Levenberg-Marquardt.

### 1.5. Estudo do efeito da potência das ondas ultrassônicas

Para avaliar o efeito da variação de densidade de potência sobre a perda de água, perda de sólidos, difusividade efetiva da água e tempo de secagem, utilizou-se o ultrassom do tipo ponteira, em diferentes densidades de potência.

A Tabela 1 apresenta as características técnicas do ultrassom de ponteira utilizado para as análises que verificaram o efeito de diferentes densidades de potência nos atributos citados anteriormente.

Tabela 1 – Dados técnicos do ultrassom de ponteira

Características Técnicas - Modelo: DES500	
Alimentação	110 ou 220 Volts
Frequência	50/60Hz
Frequência Ultrassônica	20 kHz
Potência Ultrassônica	500 Watts (RMS)
Consumo máximo	200 VA
Nível de Ruído em operação	70 dB $\pm$ 5% (gabinete)
Temporizador Digital	0 à 9 Minutos
Ajuste de potencia	20 a 99%
Micro ponta de titânio	4 mm de diâmetro
Macro ponta de titânio	13 mm de diâmetro
Peso aproximado	25 Kg (c/ gabinete)

Fonte: UNIQUE GROUP, 2011.

Os experimentos foram realizados em triplicata e objetivavam a seleção da densidade de potência que resultasse nas maiores perdas de sólidos, aumento da difusividade efetiva e redução do tempo de secagem durante o processo de desidratação convectiva do abacaxi Pérola.

O conjunto experimental de três amostras foi colocado em Béquer de 250 mL e imerso em água destilada numa razão entre água:fruta (p/p) que será determinado no item 3.1, sendo assim submetido a 100, 200, 300, 400 e 500 Watts de potência pelos tempo de 5, 10 e 15 minutos à temperatura ambiente de 30°C.

Um grupo controle foi realizado separadamente sem aplicação do ultrassom, para fins de comparação do efeito deste sob as demais amostras. Este grupo foi denominado massa seca (MS).

Após o processo de sonificação, as amostras foram colocadas sobre papel absorvente para a retirada do excesso de água, e, em seguida, pesadas.

### 1.6. Determinação de cor – Análise física

A cor dos alimentos deve-se, principalmente, à presença de pigmentos naturais. Estes pigmentos participam de diferentes reações e, em função disto, a alteração de cor de um alimento é um indicador das alterações químicas e bioquímicas possíveis de ocorrer durante o processamento e estocagem (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004).

Foram realizadas medições da cor das amostras in natura, após tratamento ultrassônico, durante etapa de substituição dos açúcares naturais por estévia e durante a secagem em estufa.

A avaliação da cor foi realizada utilizando-se um colorímetro modelo Konica-Minolta. Para cálculo dos parâmetros de cor, foi estabelecido o iluminante D65 (luz do dia 6.500K) sob o ângulo de 10° para o observador e a escala do sistema da cor “Cielab L\*a\*b”. Onde são considerados os parâmetros, claridade ou brilho, representado pela luminosidade (L\*) e a relação entre a\*/b\* na qual é obtido tanto o ângulo hue (ângulo da cor) como a Cromaticidade (saturação ou intensidade da cor) (COCOZZA, 2003).

A leitura da cor foi realizada em triplicata tomando-se três pontos de uma paca de Petri contendo a amostra.

As alterações em cada parâmetro individual de cor foram calculadas de acordo com as Equações 4, 5 e 6 (HUNTERLAB, 1993).

$$\Delta L^* = L^* - L^*0 \quad (4)$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*0 \quad (5)$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*0 \quad (6)$$

Sendo que: L\*0, a\*0 e b\*0 referem-se aos parâmetros iniciais de cor da amostra.

A partir destes parâmetros, foi calculada a diferença de cromaticidade  $\Delta C^*$  (Equação 7) e a perda de cor  $\Delta E^*$  (Equação 8), (HUNTERLAB, 1996).

$$\Delta C^* = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (8)$$

### 1.7. Análise Estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata, sendo calculadas a média e o desvio padrão de cada uma delas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de

variância ao nível de 95% de confiança, utilizando o programa estatístico Statistica (Statsoft) versão 7.0.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1. Efeito da aplicação do banho de ultrassom sobre a perda de água e perda de sólidos em Abacaxi.

Inicialmente realizou-se a análise da fruta fresca, onde o abacaxi apresentou umidade inicial de 0,845 ( $\pm 0,009$ ) g de água por grama de fruta fresca.

Em seguida, foram realizados experimentos que variaram a proporção água/fruta para ser utilizada no ultrassom com a finalidade de selecionar a proporção que apresentasse maior perda de água pela fruta ao final do processamento.

A Tabela 2 apresenta os valores referentes a perda de água e perda de sólidos pela fruta em ultrassom utilizando água destilada como meio líquido, em diferentes tempos e proporções.

Tabela 2– Perda de água (WL) e perda de sólidos (SL) em abacaxi submetido à ultrassom.

<i>Condição operacional (P/P)</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>WL* (%)</i>	<i>SL* (%)</i>
3:1	10	4,15 $\pm$ 0,9	8,91 $\pm$ 4,3
	20	18,24 $\pm$ 2,2	26,93 $\pm$ 2,9
	30	-12,09 $\pm$ 0,5	-16,86 $\pm$ 3,8
4:1	10	0,66 $\pm$ 1,2	-20,88 $\pm$ 4,2
	20	8,80 $\pm$ 1,1	7,73 $\pm$ 5,5
	30	9,15 $\pm$ 0,5	-5,77 $\pm$ 0,4
6:1	10	9,39 $\pm$ 0,4	11,39 $\pm$ 3,5
	20	7,15 $\pm$ 0,1	4,00 $\pm$ 0,6
	30	8,51 $\pm$ 1,3	11,49 $\pm$ 1,2
10:1	10	8,63 $\pm$ 0,5	0,66 $\pm$ 3,8
	20	7,87 $\pm$ 1,9	10,57 $\pm$ 0,9
	30	6,96 $\pm$ 0,8	4,14 $\pm$ 2,5

\* Valores negativos indicam ganho

De um modo geral, pode-se observar na Tabela 2 que, quando utilizou-se água destilada como meio líquido, obteve-se a mesma relação entre as proporções 3:1 e 4:1 (água:fruta) no quesito perda de água, ou seja, elas apresentaram perda crescente de água com o passar do tempo.

Pode-se destacar ainda, o fato de que, no último tempo de processamento da proporção 3:1, houve ganho de água pela fruta, ocasionado pelo efeito esponja das ondas ultrassônicas no fruto, o que não ocorreu na proporção 4:1, que apresentou pequena um pequeno perda de água em 10 minutos, tendo elevação dessa perda nos tempos seguintes.

A proporção 6:1 não apresentou uma grande variação para perda de água durante todo o tempo de processamento, o que se deve ao equilíbrio da concentração de açúcar e água entre a fruta e o meio líquido.

Já a perda de sólidos, apresentou valores consideráveis no início e no final do processamento. Essa perda pode ser admitida pela transferência de massa e difusão controlada com fluxo de líquido no interior do fruto para o meio externo devido à cavitação no interior do fruto ocasionada pelo banho de ultrassom.

Na proporção 10:1 observou-se uma diminuição na perda de água pela fruta para o meio com o passar do tempo de processamento. O excesso de água do meio pode ter saturado a fruta no início do processamento, fazendo com que nos tempos seguintes de ação do ultrassom, essa perda fosse reduzida.

A máxima perda de água do abacaxi nas condições observada na Tabela 2, foi de 18,24% após 20 minutos de tratamento, encontrada quando utilizou-se a proporção 3:1. Nessa mesma proporção, observou-se a maior perda de sólidos solúveis para o líquido dentre as demais amostras analisadas. Essa perda foi de 26,93% após 20 minutos de pré-tratamento.

FERNANDES *et al.*, (2009) estudaram o efeito da osmose e do ultrassom no tecido celular de abacaxi durante a secagem e observaram que, quando a água destilada foi utilizada como meio líquido, o fruto perdeu 23,20% de sólido para o meio, após 30 min de tratamento. Essa menor perda, pode ser causa da sazonalidade da fruta, onde dependendo da época do ano de plantio/colheita, esta pode apresentar diferenças consideráveis de umidade.

A Figura 1 mostra a tendência da perda de sólidos e água do abacaxi de acordo com o tempo de processamento para a proporção 3:1 (p/p), que apresentou máxima perda de água e sólidos.

O efeito máximo do ultrassom foi alcançado, em 20 minutos de processamento, onde observou-se pico, tanto para a perda de sólidos como para perda de água.

Após esse tempo, a amostra analisada apresentou ganho, tanto de água como de sólidos, devido à diferença no gradiente de concentração entre a fruta e o meio externo juntamente com o efeito causado pelas ondas ultrassônicas no abacaxi.

Na perda de sólidos o tempo apresentou efeito quadrático negativo, com isso, em elevados valores de tempo haverá uma menor perda de sólidos, isso a um nível de 90% de confiança (Apêndice 2).

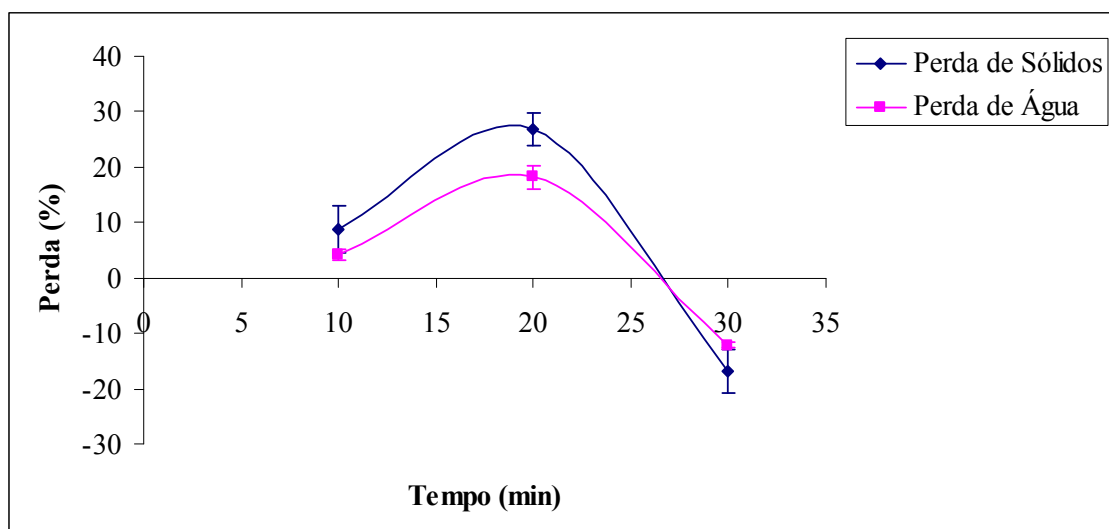


Figura 1 – Perda de água e sólidos em função do tempo de processamento no ultrassom.

A perda de sólidos se deu mais facilmente porque o ultrassom induz a mudanças na estrutura celular do fruto, criando micro canais que facilitam a transferência em massa de sólidos e água do abacaxi para o meio externo.

Segundo TARLETON e WAKEMAN (1998); FUENTE-BLANCO, (2006) as forças de compressão e expansão, provocadas pelo ultrassom, podem ser mais elevadas do que a tensão superficial que mantém a umidade dentro do material, criando os canais microscópicos e podendo remover a umidade mais fácil.

O efeito do ultrassom como pré-tratamento também foi observado durante a fase de secagem. O Apêndice 3 apresenta os resultados referentes às difusividades para abacaxi em água destilada.

A Figura 2 expõe os resultados de difusividade efetiva da água para abacaxis pérola tratados em ultrassom, nas diferentes proporções entre água e fruta.

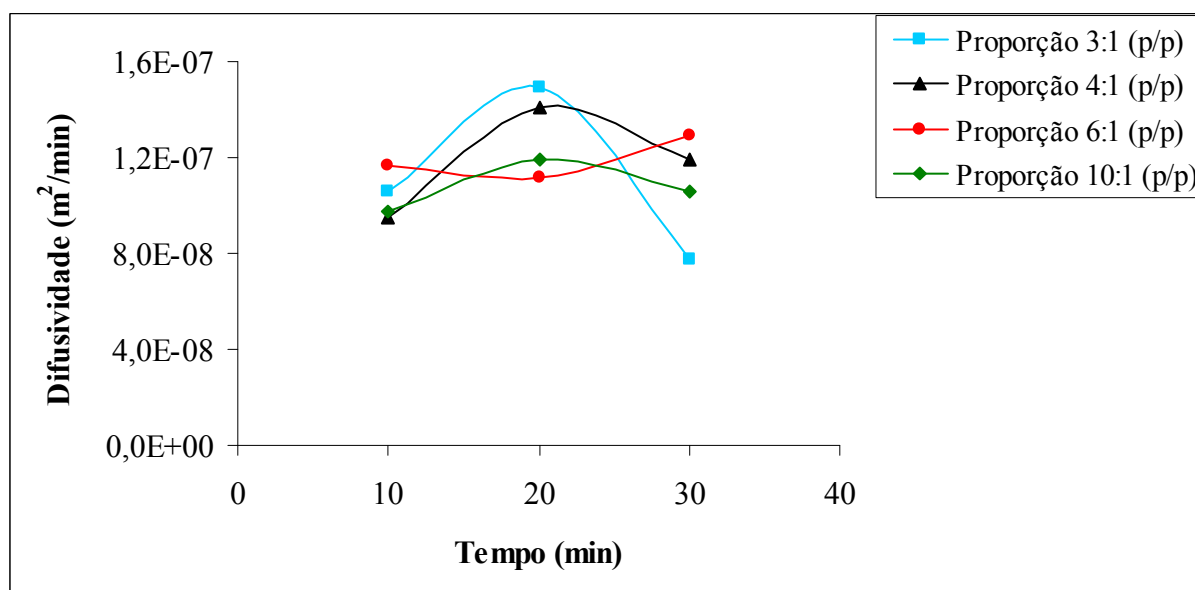


Figura 2 – Difusividade efetiva da água durante a secagem convectiva de abacaxi pérola, tratado em ultrassom.

De acordo com a Figura 2, as maiores difusividade foram encontrados quando utilizou-se as menores proporções, 3:1 e 4:1 (p/p). As proporções 6:1 e 10:1 (p/p), apresentaram menores difusividade se comparado a amostra em que não foi utilizado o ultrassom. Essa queda no valor da difusividade, possivelmente esta relacionada ao excesso de água no meio em que a fruta se encontra juntamente com o efeito esponja provocado pela sonificação.

A difusividade efetiva da água, aumentou 15,50% após 20 minutos sob aplicação do pré-tratamento na proporção em questão, valor esse menor que o encontrado por FERNANDES *et al*, (2008a) podendo ser justificado pelo uso de abacaxi com uma maior umidade, que sobre ação do ultrassom forma canais microscópicos maiores, criando assim uma maior zona de livre fluxo na fruta, o que facilita uma maior quantidade de água expulsa pela mesma.

RODRIGUES e FERNANDES (2007b) estudaram o efeito do ultrassom em diferentes frutas. Dentre as frutas estudadas, observaram perda de açúcar no melão (até 52% em 30 min) e em bananas (Até 21% em 30 min). Nas sapotas observaram pouca influência do ultrassom na perda de água e no ganho de açúcar (até 4% em 30 min). O efeito do ultrassom, na difusividade efetiva da água durante a secagem ao ar nesse processo, foi positivo (aumento da difusividade efetiva) para melões e bananas, mas foi negativo para mamão e sapotas. Eles concluíram que, o efeito do ultrassom depende da umidade e da estrutura celular da fruta analisada.

O Apêndice 4 apresenta os resultados referentes, ao o tempo total de processamento necessário para remover 90% do teor de água inicial do abacaxi pérola e na Figura 3 sua representação gráfica.

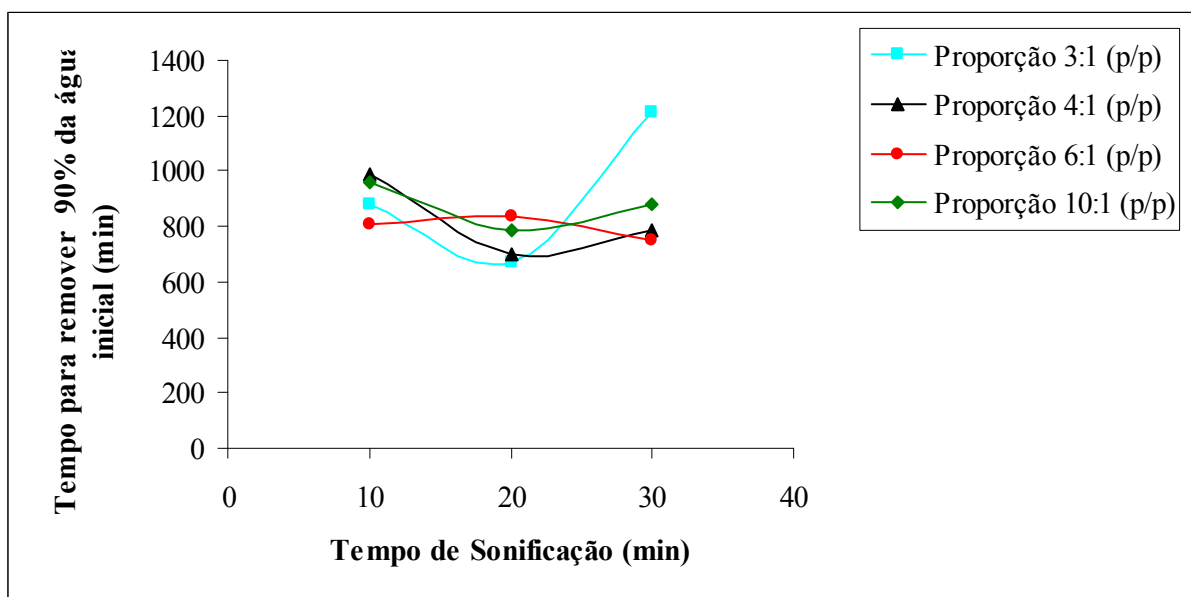


Figura 3 – Tempo de processamento necessário para remover 90% do teor de água inicial do abacaxi pérola.

De acordo com a Figura 3, o abacaxi pérola secaria mais rapidamente se sofresse ação do ultrassom por 20 minutos na proporção 3:1 (água/fruta). Nesse mesmo ponto, foi encontrada a maior difusividade efetiva, causada pelo ultrassom. Sendo

assim, quanto maior a difusividade da água do abacaxi pérola, mais rápida é sua taxa de secagem e menor será seu tempo de secagem total.

A proporção 3:1 (água:fruta) com 20 minutos de processamento, apresentou uma redução de 7,70% no tempo total de secagem necessário para remover 90% da água inicial da fruta (55,80 minutos a menos no processamento). Sendo esta a melhor condição operacional encontrada para reduzir o tempo total de secagem.

Essa redução no tempo total de secagem, foi semelhante ao encontrado por FERNANDES *et al.*, (2009) que observaram uma redução de 8% no tempo total de secagem necessário para remover 90% da água inicial da fruta, quando o abacaxi foi submetido ao ultrassom por 30 minutos, tendo água como meio líquido.

Em duas condições estudadas, encontramos o mesmo efeito que FUENTE-BLANCO *et al.*, (2006), que o pré-tratamento ultrassônico afeta o tecido das frutas fazendo com que a água se difunda mais facilmente durante a secagem a ar.

O aumento na difusividade da água por meio do ultrassom como pré-tratamento, ocasionou a diminuição do tempo de secagem da fruta, o que torna esse processo uma metodologia interessante para complementar a secagem tradicional em estufa a 60°C.

## **2.2. Efeito da ação do ultrassom tipo ponteira como pré-tratamento na secagem a ar de abacaxis (*Ananas comosus*).**

O ultrassom tipo ponteira foi utilizado como pré-tratamento para verificar o efeito da variação da densidade de potência nos parâmetros perda de água, perda de sólidos e difusividade em relação a influência do tempo de processamento na secagem em convectiva de Abacaxi Pérola.

Inicialmente realizou-se a análise da fruta in natura, onde o abacaxi apresentou umidade inicial de 0,840 ( $\pm 0,013$  g) de água por grama de fruta in natura.

Em seguida, foram realizados experimentos que variaram a densidade de potência do ultrassom de ponteira com a finalidade de selecionar a potência que provocasse maior perda de água pela fruta ao final do processamento.

Esse estudo foi realizado em béquers de 250 mL, onde os abacaxis foram imersos em água destilada, na proporção 3:1 de água por fruta (p/p) por períodos de 10, 20 e 30 minutos sobre as seguintes densidades de potência: 100, 200, 300, 400 e 500 Watts.

A proporção água:fruta de 3:1 (p/p) foi escolhida por gerar a maior perda de sólidos pelo abacaxi, quando submetido a 20 minutos de sonificação, conforme demonstrado no item 3.1.



O Apêndice 5 apresenta os valores referentes a perda de água e perda de sólidos pela fruta em água destilada como meio líquido, sobre ação do ultrassom de ponteira em diferentes tempos e potência.

De acordo com o Apêndice 5, observou-se que em cada potência o abacaxi apresentou perda crescente de água com o tempo, repetindo esse comportamento até 300W. Nas potências maiores a perda de água não apresentou o mesmo comportamento, devido a um possível equilíbrio da concentração de açúcar e água entre a fruta e o meio líquido.

A perda de sólidos também se comportou de forma crescente com o tempo dentro de cada potência até 300W. Na potência seguinte os valores de perda de sólidos variaram com o tempo, sendo que, no último ponto analisado (500W), os valores de perda voltam ao comportamento inicial, ou seja, crescente com o tempo. A alta potência do ultrassom de ponteira induz a mudanças na estrutura celular do fruto criando micro canais que facilitam a alta retirada do açúcar presente.

A máxima perda de água e sólidos pela fruta foi de, 18,22% e 31,79% respectivamente, quando a mesma foi colocada sobre ação de 300 W de potência por 15 minutos.

A Figura 4 apresenta o comportamento da perda de água pelo abacaxi em função do tempo nas diferentes densidades de potência analisadas no ultrassom de ponteira.

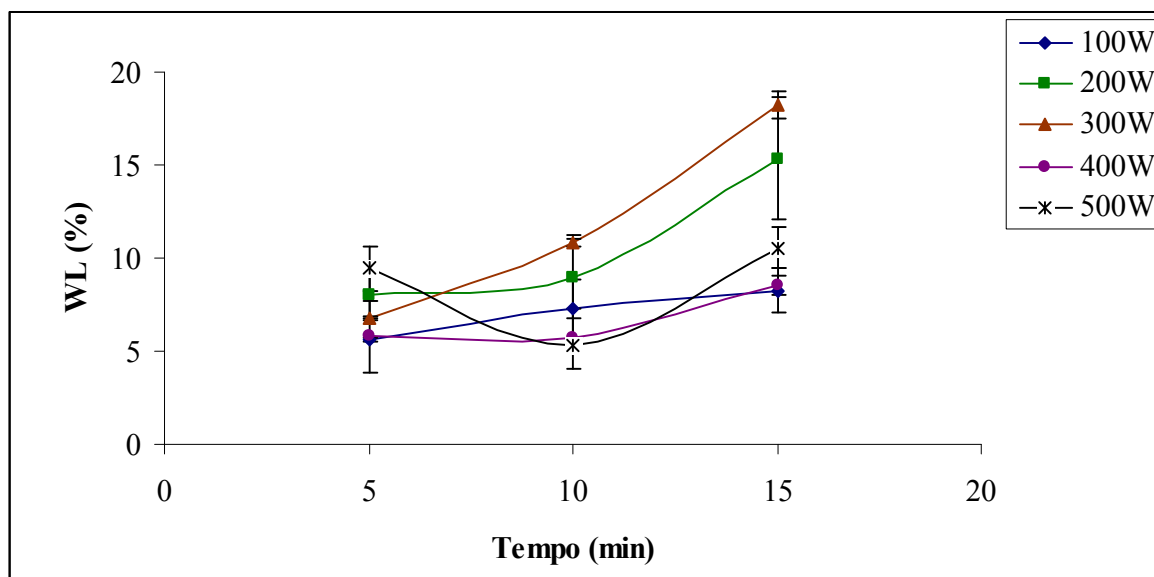


Figura 4 – Perda de água pela fruta em função do tempo de processamento do abacaxi sobre ação do ultrassom de ponteira

Pela Figura 4, pode-se observar que a perda de água pela fruta em função do tempo ocasionado pela ação do ultrassom de ponteira, ocorreu de forma similar para todas as potências analisadas. Nessa figura, o pico para perda de água foi observado quando o ultrassom foi utilizado a 300 W de potência por 15 minutos.

A alta potência do ultrassom de ponteira, provavelmente produziu micro fluxos em líquido no interior do fruto causando instabilidade em sua interface facilitando a expulsão da água do fruto para o meio externo.

A Figura 5 apresenta a perda de sólido do abacaxi sobre ação do ultrassom de ponteira em diferente densidade de potência e tempo.

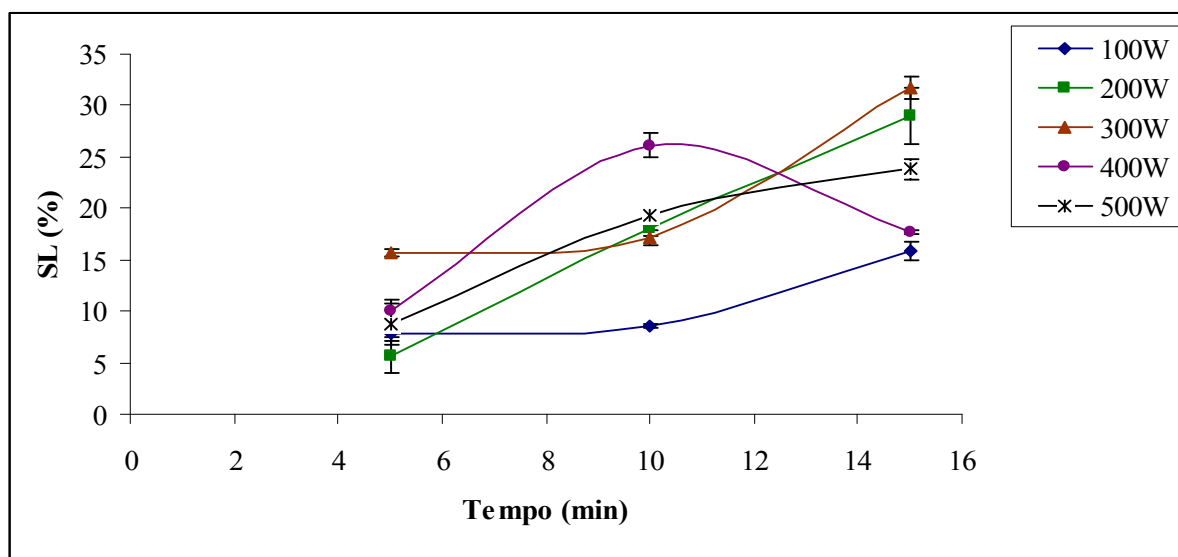


Figura 5 – Perda de sólidos pela fruta em função do tempo de processamento do abacaxi sobre ação do ultrassom de ponteira de células.

De acordo com a Figura 5, observou-se um modo geral, um aumento da perda de sólidos com o tempo proporcional ao aumento da potência do ultrassom de ponteira. Esse fato é observado até utilização de 300 W de potência. Nas potências maiores, observa-se queda na curva de perda de sólidos no primeiro tempo do processamento, seguida de elevação com conseqüente queda da mesma.

A perda de sólidos ocorreu devido, à formação de micro canais dentro do abacaxi causado pelos ondas ultrassônicas, provocadas pelo ultrassom, juntamente com a diferença de concentração de sólidos (pressão osmótica) entre, o fruto e meio líquido, o que favoreceu uma transferência em massa de sólido da fruta para o meio externo.

Este resultado foi confirmado por análise estatística a um intervalo de 95% de confiança, onde de acordo com o teste de F o modelo pode ser considerado estatisticamente significativo. (F calculado para o modelo de perda de sólidos foi de 18,88 enquanto que o valor de  $F_{5,9}$  tabelado 0,50) (Apêndice 6)

O efeito do ultrassom de ponteira como pré-tratamento, também foi observado durante a fase de secagem. O Apêndice 7 apresenta os resultados referentes às difusividades para abacaxi em água destilada, sobre ação de diferentes densidades de potência em função do tempo.

Na Figura 6 apresenta a representação gráfica da influência da potência ultrassônica sobre a difusividade efetiva da água, durante a secagem convectiva do abacaxi pérola.

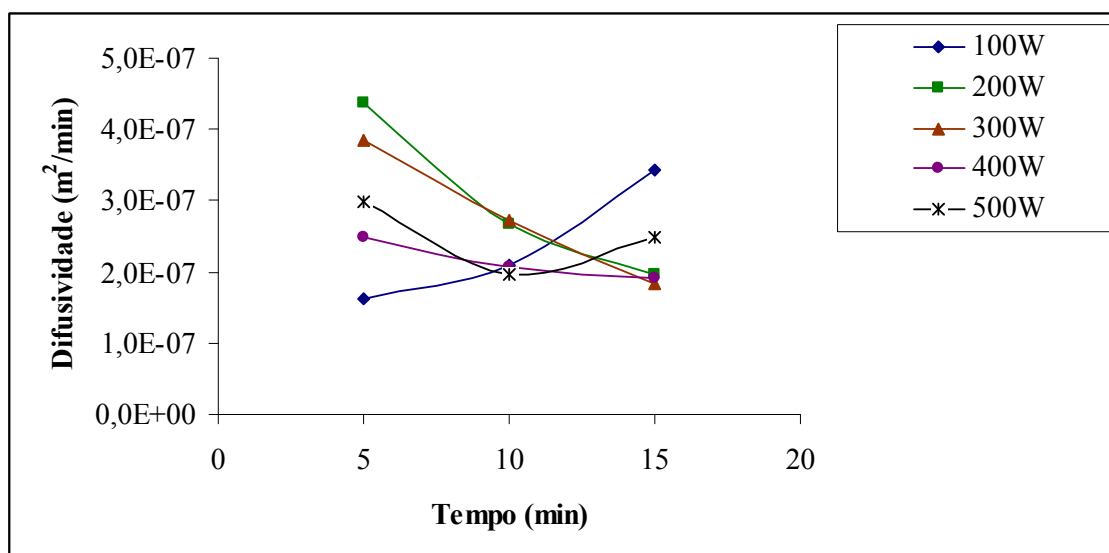


Figura 6 - Efeito da potência ultrassônica sobre a difusividade efetiva da água do abacaxi pérola.

Analisando a Figura 6, observou-se que na primeira potência estudada (100 W) a difusividade efetiva aumenta a medida o tempo de processamento se eleva. Nas potências seguintes 200 e 300 W, foi observado comportamento contrário ao da primeira potência.

Nas densidades de potências 400 e 500 W, observou-se que a difusividade decresce com o tempo de processamento. A utilização de altas potências pode ter reduzido o efeito da cavitação no abacaxi. Essa redução do efeito da cavitação ocorre, devido ao colapso menos violento da bolha de cavitação, atrapalhando a propagação das ondas ultrassônicas e a formação dos microcanais que proporcionam maior expulsão da água da fruta para o meio.

A máxima difusividade relativa encontrada foi de  $4,37 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{min}$ , quando foi utilizado 200 W de potência por 5 minutos. Sendo esta condição a que melhor representa a utilização do ultrassom tipo ponteira, como etapa preliminar à secagem do abacaxi pérola.

A difusividade relativa da água no abacaxi pérola analisado, foi maior em todos os pontos em que foi utilizado o ultrassom de ponteira, como quanto maior for a difusividade maior será a taxa de secagem. Então a utilização do ultrassom como pré-tratamento apresenta-se como uma tecnologia viável para a secagem de abacaxi pérola.

O Apêndice 8 apresenta o tempo total de processamento necessário para remover 90% do teor de água inicial do abacaxi, tendo na Figura 7 sua representação gráfica.

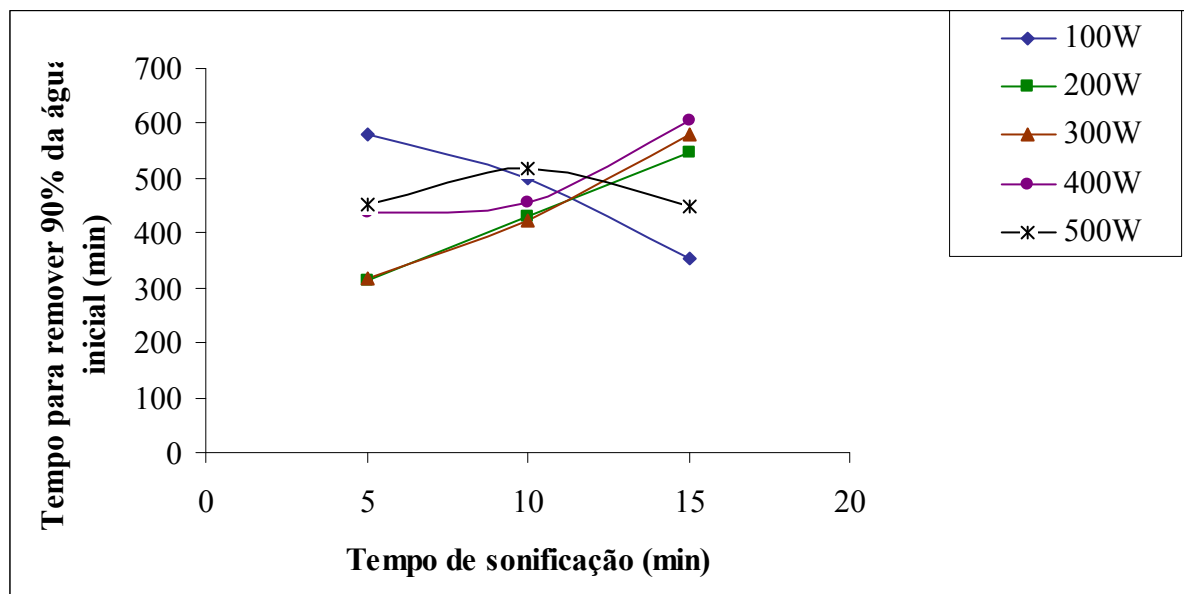


Figura 7 - Tempo em minutos, necessário para remover 90% do teor de água inicial do Abacaxi pérola.

Pela Figura 7 observou-se que, na primeira potência estudada houve decréscimo no tempo de secagem de forma à medida que tempo de processamento em ultrassom aumentava. Essa queda no tempo de secagem é observada até o primeiro tempo de processamento em 200 W de potência, após esse ponto o tempo necessário para remover 90% da água inicial do fruto cresce de forma proporcional ao tempo de processamento nessa potência.

Nas densidades de potências 200, 300 e 400 W, observou-se que o tempo necessário para a redução do tempo de secagem aumenta de conforme tempo de sonificação era elevado. Esse comportamento é devido a redução da difusividade efetiva, causada pelo ultrassom de ponteira no abacaxi.

O menor tempo encontrado para remover 90% da água inicial do fruto foi observado quando o ultrassom foi utilizado a uma potência de 200 W por 5 minutos. Nessa condição houve uma redução de 319,4 minutos (5 horas e 32 minutos), no tempo total de secagem do abacaxi, ou seja, uma redução de 49,66% do tempo necessário para remover 90% da água inicial do fruto

Para secagem do abacaxi Pérola em que foi utilizado banho de ultrassom como pré-tratamento, observou-se que, com 20 de pré-tratamento o tempo de secagem seria reduzido em 55,8 minutos, ou seja, o tempo total da secagem passaria a ser de 11 horas e 14 minutos.

Já com 5 minutos de pré-tratamento em ultrassom de ponteira a 200W de potência, o tempo de secagem desse abacaxi seria reduzido em 319,4 minutos, passando a um tempo total de secagem de 5 horas e 32 minutos, ou seja, com um menor tempo de processamento, o tempo total da secagem seria reduzido, diminuindo os custo do processo. Dessa forma, a utilização do ultrassom de ponteira na secagem de abacaxi,

apresenta-se como uma eficiente tecnologia para a redução de custos e tempos processamento.

### 2.3. Influência da sonificação sobre a cor

Para avaliação da cor das amostras de abacaxi Pérola nas formas *in natura*, sonificada e desidratada, foram utilizados os parâmetros  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  e  $b^*$  (cromaticidade),  $\Delta E^*$  (perda de cor entre a fruta *in natura* e a processada) e  $\Delta C$  (cromaticidade). Os resultados obtidos encontram-se expostos no Apêndice 9.

Em todas as proporções água/fruta (p/p) estudadas, bem como em todos os tempos de ultrassom ao qual foram submetidas as amostras, observou-se o mesmo comportamento ao longo do tempo de secagem para os parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  (individualmente).

Em todas as condições de processamento estudadas, o parâmetro  $a^*$  tornou-se positivo, somente, no último tempo de secagem. De um modo geral, a amostra controle escureceu mais que as demais amostras que foram diluídas e sofreram a ação do ultrassom. Como o parâmetro  $a^*$  varia do índice de saturação verde (-) ao vermelho (+), os valores indicam uma maior intensidade da tonalidade vermelha na fruta seca.

Com relação ao parâmetro  $b^*$ , foi observado seu aumento com o decorrer da secagem, sendo que esse valor reduzido bruscamente ao final da secagem para todas as amostras analisadas, indicando tendência ao azul (valores negativos de  $b^*$ ).

De acordo com o Apêndice 9 os valores de  $b^*$  aumentam com o aumento da proporção água/fruta (p/p), tendo na proporção 4:1 valores mais próximos à massa seca e na proporção 6:1 valores um pouco maiores para esse referido parâmetro, denotando uma maior intensidade da cor amarela do abacaxi.

Segundo AHMED, SHIVHARE e KAUR (2002) qualquer mudança nos valores dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  está associada a uma mudança simultânea no valor de  $L^*$ . No final da secagem, os valores da luminosidade ( $L^*$ ) tendem a cair bruscamente em todas as amostras, devido a concentração de compostos e redução do teor de água.

Esse decréscimo da luminosidade pode ser devido à concentração de compostos e redução do teor de água, bem como, pode estar associado à formação de compostos escuros, decorrentes de reações de escurecimento enzimático e não enzimáticos.

Pelo Apêndice 9 observou-se um aumento dos valores de  $L^*$  proporcional ao aumento da proporção água/fruta, exceto para a ultima proporção onde foi observado uma pequena redução desse valor. Os maiores valores de  $L^*$  foram observados na proporção 4:1 (água/fruta).

A Figura 8 apresenta o comportamento dos valores de  $L^*$  em função do tempo de processamento, na proporção 4:1 de água para fruta (p/p) nos tempos 10, 20 e 30 sobre ação do ultrassom.

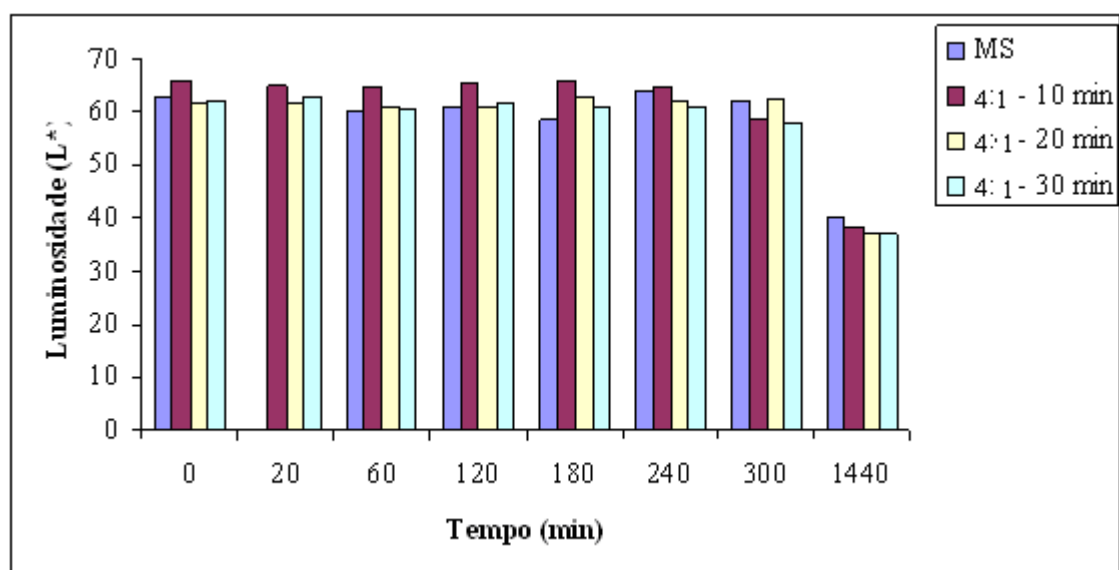


Figura 8 – Valores de luminosidade do abacaxi sonificado em diferentes tempos em função do tempo de secagem.

Até a segunda hora de secagem não foram observadas mudanças consideráveis entre as diferentes amostras estudadas na proporção 4:1 de água para fruta (p/p) em relação a esse atributo.

De acordo com a Figura 8 os menores valores de luminosidade encontrados foram quando a amostra sofreu ação do ultrassom por 20 e 30 minutos, sendo a diferença entre esses dois tempos quase que imperceptíveis. Já em 10 minutos de ação da fruta ao ultrassom resultou nos maiores valores de  $L^*$  bem como, a sua quase que estabilidade no decorrer da secagem resultando em uma fruta mais amarela.

Durante o tratamento ultrassônico, ocorre a ruptura das membranas celulares e dos complexos proteínas-carotenóide que conferem uma maior homogeneização e conseqüentemente intensificação da coloração laranja da fruta após tratamento em ultrassom.

Por outro lado CHEN, PENG e CHEN (1995) reportaram que as condições extremas de temperatura e pressão que ocorrem durante a sonificação podem acelerar a isomerização de carotenóides.

ADEKUNTE *et al.*, (2010) também reportaram mudança na cor do suco de tomate após tratamento ultrassônico. Porém, a sonificação resultou em decréscimo nos valores dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  e um aumento no valor de  $\Delta E$ , indicando haver degradação de carotenóides (licopeno).

O índice saturação ( $\Delta C$ ) pode melhorar o entendimento das variações de cor encontrada nas amostras. O  $\Delta C$  indica a variação do grau de intensidade do croma ( $a^*$  e  $b^*$ ) da amostra tratada com relação à *in natura*. Quanto menor o valor, menor a variação.

Com base no Apêndice 9, pode-se observar que os valores de croma ( $\Delta C$ ) aumentam ao final da secagem independentemente das condições de precessamento

estudadas, ou seja, ao final da secagem a fruta apresenta coloração mais escura do que antes do processamento (*in natura*).

Na proporção 4:1 (p/p) foram observadas os menores valores de  $\Delta C$  em relação às demais proporções, mostrando haver pouca diferença dessa proporção em relação às outras.

A Figura 5 apresenta o comportamento do parâmetro cromaticidade  $\Delta C$ , nas frutas sonificadas em diferentes tempos em função do tempo de secagem.

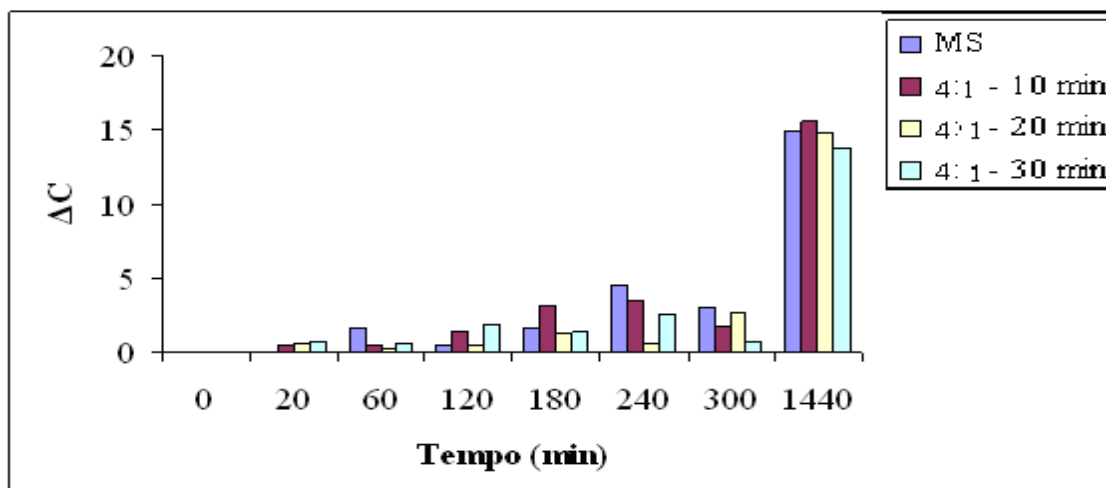


Figura 5 – Valores de cromaticidade do abacaxi sonificado em diferentes tempos em função do tempo de secagem.

Os menores valores de croma foram encontrados nos primeiros tempos de secagem. Com o menor grau de intensidade apresentado em uma hora de secagem, sendo quase imperceptível qualquer diferença existente entre os tempos de processamento da fruta em ultrassom para esse parâmetro.

Assim como o croma ( $\Delta C$ ) as variações nos parâmetros de cor observadas ( $\Delta E$ ) aumentam, bruscamente, ao final da secagem independentemente das condições de operação estudada. Os menores valores para esse parâmetro também foram na proporção 4:1 de água/fruta, em relação às demais proporções estudadas.

Diferenças perceptíveis nos parâmetros de cor podem ser analiticamente classificadas em: muito distintas ( $\Delta E > 3$ ), distintas ( $1,5 < \Delta E < 3$ ) e ligeiramente distintas ( $\Delta E < 1,5$ ). CHOI, KIM e LEE (2002) sugeriram que um  $\Delta E > 2$  corresponde a diferenças visuais perceptíveis em diversos produtos.

De um modo geral as menores diferenças perceptíveis foram apresentadas quando se utilizou a proporção 4:1 (p/p).

A condição de processamento ultrassônico na qual se obteve melhor retenção das características de cor do abacaxi *in natura* foi quando se utilizou a proporção 4:1 de água para fruta (p/p) sobre ação do ultrassom por 10 minutos.

## **CAPÍTULO 3 - SUBSTITUIÇÃO DE AÇÚCARES CALÓRICOS POR NÃO CALÓRICOS EM ABACAXIS (*Ananas comosus*) E EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA ASSISTIDA POR ULTRASSOM NA ANÁLISE DE COR DO MESMO**

Os valores do ganho de Estévia no abacaxi foram estudados num processo onde se retirou, primeiramente, o açúcar da fruta seguido de imersão em solução de estévia nas concentrações de 10% e 25%. O uso do ultrassom nesse processo, foi usado para avaliar o ganho de estévia durante o aumento do tempo de processamento. Os resultados foram avaliados procurando-se pela condição operacional que melhor representou esse ganho.

### **1. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **1.1. Obtenção da amostra**

Foi utilizado abacaxi (*Ananas comosus*) cultivar Pérola, obtida em supermercado local (Fortaleza/Brasil).

As frutas foram lavadas em água corrente, cortadas em rodela com aproximadamente um centímetro de espessura, desprezando-se as extremidades da fruta e, por fim, cortados em quatro partes iguais, obtendo-se amostras com forma semelhante a triângulos, mantendo 1 centímetro de espessura.

As amostras foram pesadas individualmente em balança semi-analítica e, posteriormente foram realizadas medições instrumentais de cor, utilizando-se de colorímetro da marca Konica-Minolta.

#### **1.2. Processo de substituição de açúcar por adoçante (Estévia)**

Após estudo realizado no Capítulo 2, verificou-se que utilizando a proporção 3:1 de água para fruta (p/p), em 20 minutos de pré-tratamento sobre ultrassom, obteve-se 26,93% de perda de sólidos solúveis e 18,24% de perda de água, sendo esses os maiores valores encontrados. Por tanto, os estudos que seguem foram todos realizados na proporção de água para fruta de 3:1 (p/p), sobre 20 minutos de processamento em ultrassom.

O processo de substituição de açúcar consistiu de duas etapas. Na primeira etapa, as amostras foram submetidas, em água destilada, ao banho de ultra-som 40 kHz, 135 watts de potência e volume útil de 2,7 L (Unique modelo USC1400), sem agitação mecânica, por 20 minutos, para remoção dos açúcares da fruta (glicose, frutose e/ou sacarose).



Na segunda etapa, os frutos foram acondicionados em béquers de 250 ml contendo solução de estévia a 10 e 25% (p/p), previamente preparada a partir da diluição, em água destilada, do preparado sólido comercial, da marca Stévita, composta de 1% de esteviosídeo, 1% de dióxido de silício (anti-umectante) e 98% de maltodextrina. Em seguida as amostras foram submetido ao banho de ultra-som por 5, 10, 15 e 20 minutos. Após a sonificação, foram colocadas sobre papel absorvente para a remoção da água em excesso, e realizada a pesagem.

Nesse estudo todas as amostras passaram pela primeira etapa. Na segunda etapa tivemos os frutos que passaram pelo banho de ultrassom no momento da imersão em solução de estévia e os que não passaram pelo banho de ultrassom, para fins de comparação do efeito do ultrassom sobre as amostras.

Ao final do processamento as amostras foram levadas à estufa a 60°C por 24 horas. Após essa etapa, foi realizada a última pesagem, para a realização dos cálculos de incorporação de estévia pelas amostras, de acordo com a equação (2) do Capítulo 2.

A Figura 1 apresenta as etapas do processo de substituição de açúcar natural da fruta pelo adoçante estévia.

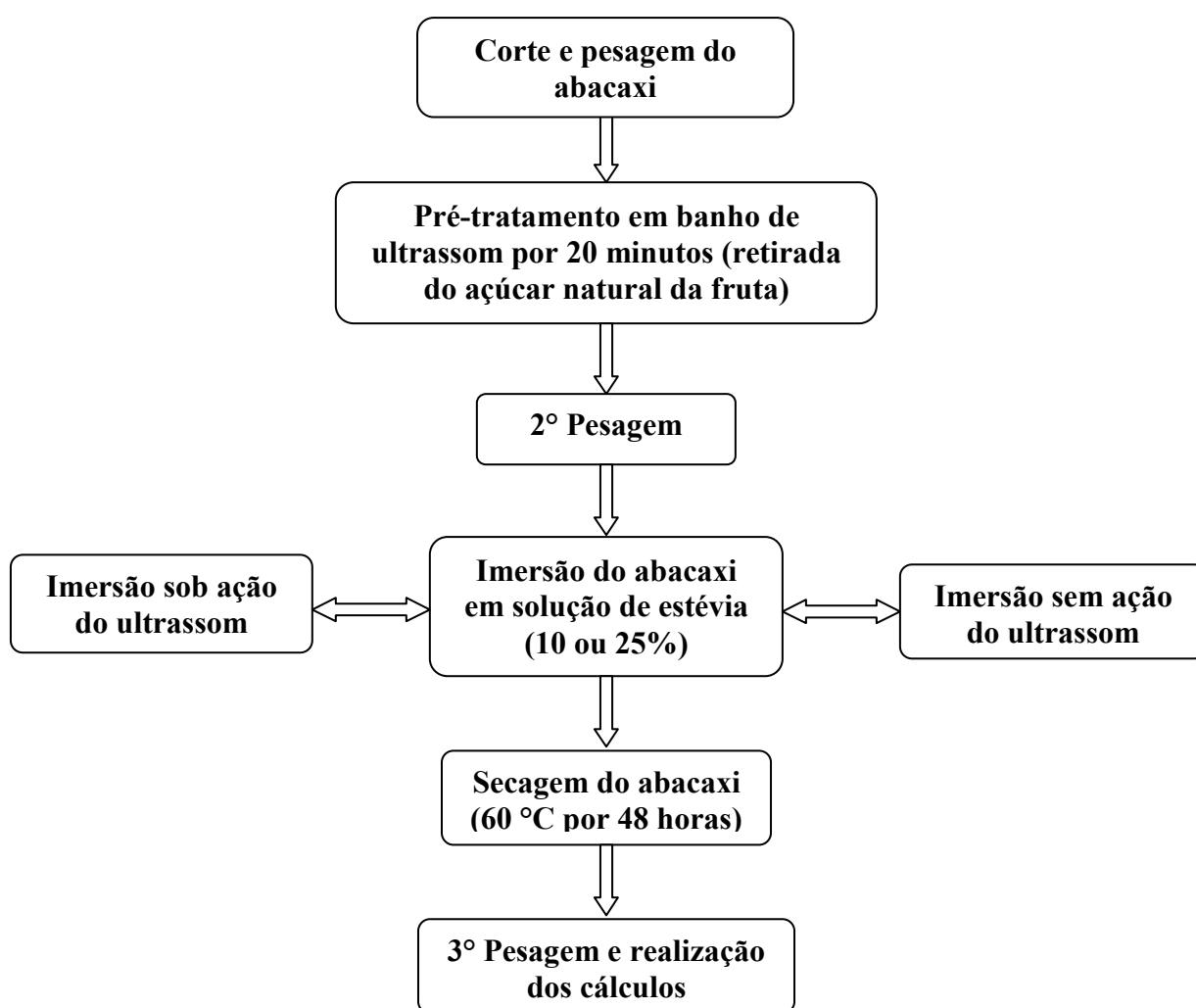


Figura 1 – Fluxograma do processo de substituição do açúcar natural da fruta por estévia.

### 1.3. Cálculo do valor energético do abacaxi pérola

O valor energético foi calculado a partir dos teores de proteínas, lipídios e carboidratos descritos na Tabela 1 (Composição química de 100 g de parte comestível do abacaxi pérola *in natura*), admitindo-se como coeficientes de conversão os contidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de conversão da composição química em calorias

Componente	Coeficiente de conversão (cal)
Carboidrato	4
Proteína	4
Lipídio	9

Para o cálculo do valor energético do abacaxi processado, admitiu-se a perda de sólidos igual à perda de carboidratos e procedeu-se conforme procedimento supracitado.

### 1.4. Determinação de cor – Análise física

A avaliação da cor foi realizada utilizando-se um colorímetro modelo Konica-Minolta. Para cálculo dos parâmetros de cor, foi estabelecido o iluminante D65 (luz do dia 6.500K) sob o ângulo de 10° para o observador e a escala do sistema da cor “Cielab L\*a\*b”, sendo a coordenada “L” a luminosidade; a coordenada “a” intensidade do vermelho/verde; e a coordenada “b” a intensidade do amarelo/azul. A leitura da cor foi realizada em triplicata tomando-se três pontos de uma paca de Petri contendo a amostra.

As alterações em cada parâmetro individual de cor foram calculadas de acordo com as Equações 1, 2 e 3 (HUNTERLAB, 1993).

$$\Delta L^* = L^* - L^*0 \quad (1)$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*0 \quad (2)$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*0 \quad (3)$$

Sendo que: L\*0, a\*0 e b\*0 referem-se aos parâmetros iniciais de cor da amostra. A partir destes parâmetros, foi calculada a diferença de cromaticidade  $\Delta C^*$  (Equação 4) e a perda de cor  $\Delta E^*$  (Equação 5), (HUNTERLAB, 1996).

$$\Delta C^* = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1. Perda de água e perda de sólidos em abacaxi submetido à solução osmótica de 10 e 25% de estévia.

A Tabela 2 apresenta os resultados para perda de água e perda de sólidos nas amostras que sofreram ação do pré-tratamento em ultrassom, seguido de imersão em solução osmótica, contendo 10% de estévia, sobre ou não a utilização do ultrassom.

Tabela 2 – Perda de água e sólidos no abacaxi submetido ao pré-tratamento em ultrassom seguido de imersão em solução de 10% estévia com ou sem a utilização do ultrassom.

<i>Condição operacional</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>Perda de água (%)</i>	<i>Perda de sólidos (%)</i>
Tratamento sem ultrassom	5	5,47 ± 1,2	3,21 ± 0,7
Tratamento sem ultrassom	10	6,18 ± 1,0	4,10 ± 0,9
Tratamento sem ultrassom	15	4,78 ± 1,2	1,56 ± 3,3
Tratamento sem ultrassom	20	2,80 ± 1,2	9,39 ± 1,1
Tratamento com ultrassom	5	5,12 ± 0,7	-10,18 ± 0,4
Tratamento com ultrassom	10	6,27 ± 1,7	-1,94 ± 1,7
Tratamento com ultrassom	15	6,44 ± 1,8	-0,44 ± 1,6
Tratamento com ultrassom	20	3,46 ± 0,7	-5,36 ± 0,9

\*Valores negativos indicam ganho.

Os resultados apresentados na Tabela 2 para as amostras sem ultrassom mostram que, utilizando uma solução osmótica de 10% de estévia, houve perda de sólidos, por parte da fruta, de forma crescente com o tempo, com exceção no tempo de 15 minutos.

A maior perda de sólidos, para as amostra sem tratamento em ultrassom no momento da imersão, foi no tempo de 20 minutos de processamento. Como a estévia é um agente osmótico de alto peso molecular (se comparado a glicose e frutos), esta pode ter sido responsável pela formação de uma camada na superfície do fruto, que agiu como uma barreira adicional à transferência de massa, com isso os poros da fruta apresentaram uma maior resistência a entrada dessa molécula na mesma. O que justifica o fato do abacaxi ter perdido açúcar durante o processamento.

Em relação as amostras com utilização do ultrassom no momento da imersão em estévia, observamos ganho de sólidos em todos os tempos de processamento. Esse ganho de sólidos pela fruta pode ter sido favorecido pelo efeito esponja provocado pelo ultrassom facilitando assim a entrada dessa molécula na fruta.

Os resultados mostram que o uso do ultrasom intensifica o ganho de sólidos, principalmente devido ao próprio efeito esponja que satura rapidamente a fruta com açúcar, sem a utilização daquele a incorporação da estévia, que foi o objetivo em estudo, não seria alcançada.

Segundo TARLETON (1992); WAKEMAN (1998); FUENTE-BLANCO (2006) as ondas ultra-sônicas podem causar uma série rápida de compressões e expansões, de uma maneira bem similar a esponjas quando são espremidas e liberadas repetidamente. As forças envolvidas por este mecanismo podem ser mais elevadas do que a tensão superficial que mantém a umidade dentro do material, criando os canais microscópicos e podendo remover a umidade de forma mais fácil e conseqüentemente facilitar a entrada de outros compostos.

Já a maior perda de água, das amostras em que não foi utilizado o ultrassom no momento da imersão em solução osmótica em estudo, apresentou-se no tempo de 10 minutos de processamento (6,18%) e nas amostras com a utilização do ultrassom em 15 minutos (6,44%)

PARKOJO *et al.*, (1996); RASTOGI e NIRANJAN (1998); RASTOGI e RAGHAVARAO, (2004) estudaram a desidratação osmótica de abacaxi sem aplicação de ultrassom. Seus resultados mostraram que, o abacaxi perdeu 14% da água quando foi imerso em solução osmótica de 40 °Brix e 32% de água, quando imerso em uma solução osmótica de 70 °Brix, ambos após 30 minutos de tratamento..

A Figura 2 apresenta a relação entre perda de água e ganho de sólidos pelo abacaxi submetido a solução osmótica contendo 10% de estévia nas amostra em que foram utilizado o ultrassom no momento da imersão, em função do tempo.

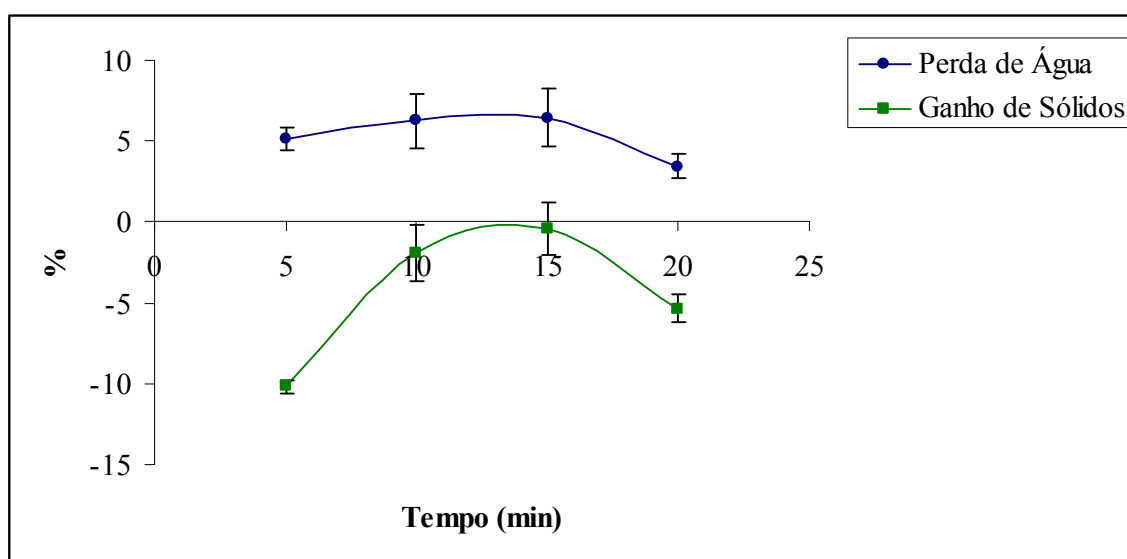


Figura 2 – Perda de água e ganho sólidos por abacaxi imerso em solução osmótica de 10% de estévia sobre ação do ultrassom como pré-tratamento a secagem.

Analisando a Figura 2 observou-se, que a perda de água pela fruta tende a aumentar 15 minutos de processamento, após esse tempo observou-se queda dessa perda de água. Já o ganho de açúcar tende a diminuir com o aumento do tempo com exceção em 20 minutos de processamento onde o ganho de açúcar volta a crescer.

Para a desidratação osmótica composta por 25% de estévia, a Tabela 3 mostra que quando não utilizou-se ultrassom houve um ganho crescente de sólidos pela fruta com o decorrer do tempo, exceto no ultimo tempo do experimento (20 minutos) onde houve a única perda de sólidos para esse grupo. Nesse mesmo tempo observou-se a menor perda de água.

Tabela 3 – Perda de água e sólidos no abacaxi submetido ao pré-tratamento em ultrassom seguido de imersão em solução de 25% estévia com e sem a utilização do ultrassom.

<i>Condição operacional</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>Perda de água (%)</i>	<i>Perda de sólidos (%)</i>
Tratamento sem ultrassom	5	6,98 ± 1,0	-4,36 ± 0,4
Tratamento sem ultrassom	10	8,19 ± 0,2	-7,45 ± 0,2
Tratamento sem ultrassom	15	6,74 ± 0,4	-10,56 ± 1,5
Tratamento sem ultrassom	20	2,79 ± 1,5	-10,79 ± 1,9
Tratamento com ultrassom	5	4,72 ± 0,5	-10,72 ± 1,2
Tratamento com ultrassom	10	6,40 ± 0,8	-15,20 ± 2,3
Tratamento com ultrassom	15	6,57 ± 1,2	-16,09 ± 0,8
Tratamento com ultrassom	20	7,6 ± 0,9	-20,18 ± 2,8

\*Valores negativos indicam ganho.

Nas amostras com a utilização do ultrassom no momento da imersão, observou-se os maiores valores para ganho de sólidos com um máximo de 20,18% em 20 minutos de processamento. A alta concentração de estévia utilizada juntamente com a cavitação provocada pelas ondas ultra-sônicas podem ter ocasionado a alta incorporação de sólidos pela fruta.

SAPUTRA (2001) em estudo com abacaxi pré-tratado com soluções de glicose e sacarose em diferentes concentrações observou que, uma maior taxa de transferência de massa foi encontrada quando utilizou-se solução de sacarose na concentração de 70%, a 50 °C por 9 horas de imersão.

A Figura 2 apresenta a relação a relação perda de água e ganho de sólidos pelo abacaxi submetido a solução osmótica contendo 25% de estévia nas amostra em que foi utilizado o ultrassom no momento da imersão, em função do tempo.

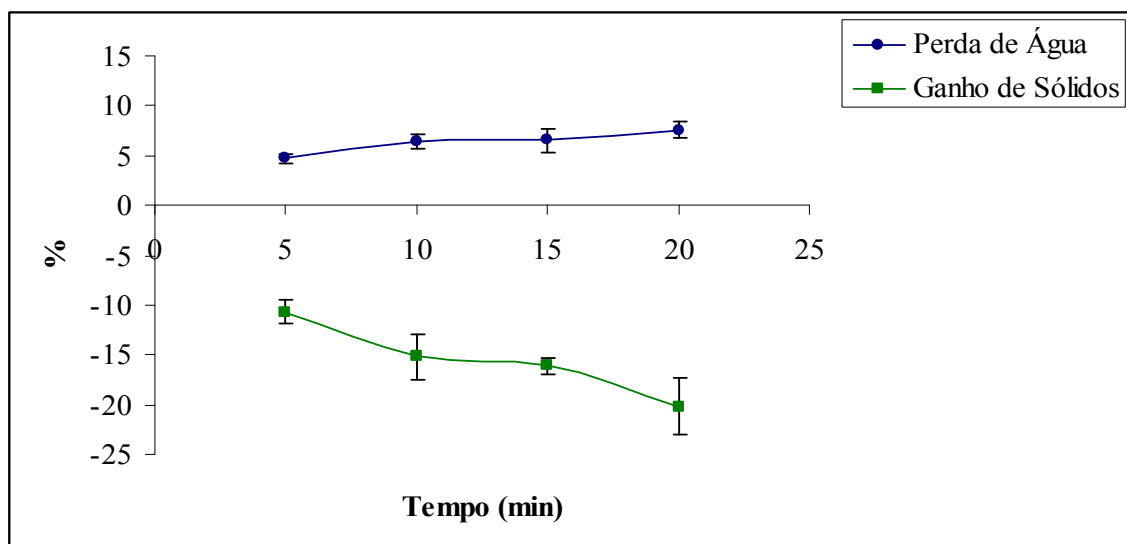


Figura 2 – Perda de água e ganho de sólidos por abacaxi imerso em solução osmótica de 25% de estévia com utilização do ultrassom.

De acordo com a Figura 2 observou-se o um comportamento crescente em relação ao ganho de sólidos, com pico de 20,18% em 20 minutos de processamento para as amostras com utilização do ultrassom.

Com relação a perda de água observou-se o mesmo comportamento crescente, com pico de 7,61% em 20 minutos de processamento, o que demonstra uma relação diretamente proporcional entre a perda de sólidos e perda de água. A alta concentração do agente osmótico juntamente com o supracitado efeito do pré-tratamento no abacaxi, fez com que esse apresentasse tendência a ganhar sólido à medida que aumentava o tempo de processamento.

Estudos que envolvem ultrassom, desidratação osmótica e desidratação osmótica assistida por ultrassom, têm mostrado que diferentes frutas respondem de forma diferente à aplicação destes pré-tratamentos a secagem (FERNANDES *et al.*, 2006a, b; FERNANDES E RODRIGUES 2007; RODRIGUES E FERNANDES 2007a, b; SOUZA *et al.*, 2007).

GARCIA-NOGUEIRA (2009) relatou perdas de sólidos solúveis em morangos, de aproximadamente 10% do peso inicial do fruto quando estes foram submetidos a aplicação do ultrassom como pré-tratamento em água destilada por 45 min.

OLIVEIRA (2010) observou que, quando quanto maior o tempo de processamento aliado a uma maior concentração de estévia, maior será o ganho de sólidos por Jambos sob a ação do ultrassom.

## **2.2. Efeito do pré-tratamento em ultrassom na estimativa da perda de calorias do abacaxi**

Após estudo realizado no Capítulo 2, onde o abacaxi apresentou umidade inicial de 0,845g de água por grama de fruta fresca, verificou-se que utilizando a proporção 3:1 de água para fruta em 20 minutos de pré-tratamento em ultrassom, obteve-se 26,93% de perda de sólidos solúveis e 18,24% de perda de água, sendo esses os maiores valores encontrados.

Por tanto, inicialmente as amostras de fruta *in natura* apresentavam valor energético de 44,68 cal/100g de fruta, sendo que após tratamento em ultrassom (proporção 3:1 de água para fruta por 20 minutos), observou-se que o abacaxi perdeu 12,03 cal/100g de fruta, com isso, para a recuperação da doçura inicial de 100g da fruta *in natura*, bastaria incorporar 1,0g do preparado sólido contendo estévia (forma comercial da estévia utilizada) ou 0,01g de estévia pura.

A quantidade mencionada acima para que fruta recupere sua doçura inicial contém 4 cal/100g de fruta, com isso a fruta reduziu seu valor energético em 17,97% passando a conter 36,65 cal/100g de fruta.

Esta quantidade de estévia corresponde a 4 cal/100g de fruta, resultando em um produto final com redução de 17,97% no valor energético, ou seja, 36,65 cal/100g de fruta.

De acordo com a Tabela 2 verificou-se que, quando a amostra foi imersa em uma solução de estévia a 10% de concentração, com a utilização do banho de ultrassom, a mesma apresentou perda de sólidos pela fruta. Com isso para saber o tempo necessário a incorporação de 0,01g de estévia pura, para que o abacaxi recuperar sua doçura inicial

utilizou-se os dados de perda de sólidos da amostra que sofreu ação do banho de ultrassom por 5 minutos.

Sabendo que, para o abacaxi recuperar sua doçura inicial teria que incorporar 0,01g de estévia, então pode-se concluir que, seria necessário apenas 0,042 minutos de contato da amostra numa solução contendo 10% de estévia, sob ação do banho de ultrassom, para que a mesma recupere sua doçura inicial.

Este resultado enfatiza a necessidade do uso do ultrassom na redução do tempo de processamento, tanto para a remoção de sólidos da fruta como na incorporação de açúcar não calórico pela a mesma.

### **2.3. Influência da solução osmótica de estévia, assistida ou não por ultrassom na cor do abacaxi Pérola**

Juntamente ao estudo de substituição de açúcar da fruta por estévia, foi realizada análise instrumental de cor das amostras antes, durante e ao final do processamento, a fim de observar o efeito das concentrações osmótica (10 e 25%), assistida ou não por ultrassom sobre a cor da fruta.

De acordo com o Apêndice 10, no geral, para todos os casos estudados os valores de  $a^*$  apresentaram-se maiores do que o valor da amostra controle, distanciando-se da cor característica da fruta fresca.

As amostras tratadas com solução osmótica a 10% (p/p) apresentaram valores um pouco maiores de  $b^*$  em relação as que foram imersas em solução de 25% (p/p) de Stévia, ou seja, apresentaram intensificação da cor amarela.

Comparando os valores referentes ao atributo luminosidade, as amostras que não sofreram ação do ultrassom em solução a 25% (p/p) de estévia, não apresentaram grandes alterações de cor durante o decorrer do processamento, ou seja, o tempo de imersão do abacaxi na solução de estévia em questão, não influenciou na cor deste durante todos os estágios do processamento (aplicação prévia do ultrassom para retirada do açúcar natural da fruta, tempo de contato da solução osmótica com a fruta, sem aplicação do ultrassom e secagem).

Ainda para o atributo luminosidade ( $L^*$ ) do produto obtido com as soluções osmóticas de estévia estudadas (10 e 25% p/p), com e sem a utilização do ultrassom no momento da imersão, observou-se pelo Apêndice 10 que, as amostra que foram imersas em solução de 10% (p/p) sem ultrassom no momento da imersão, obtiveram os maiores valores para esse atributo. O que denota um menor escurecimento dessa amostra em relação às demais.

Sendo assim, as amostras que não sofreram ação do ultrassom no momento da imersão em solução osmótica de estévia, apresentaram uma maior retenção da coloração da fruta *in natura*.

Segundo SALA *et al.*, (1995), a mudança na coloração das amostras que sofrem ação do ultrassom, está associada a cavitação que este provoca nas mesma

acelerando diversas reações físicas, biológicas e químicas como as reações de escurecimento enzimático.

A Figura 3 apresenta a coloração do abacaxi Pérola no processamento, em relação luminosidade ( $L^*$ ), quando imerso em solução osmótica de Stévia a 10% p/p sem sonificação, onde, as amostras controle foram: MS que é a massa seca (amostra sem sonificação em momento algum) e MS - S/S que é a massa seca que foi sonificada previamente para remoção do açúcar natural da fruta.

O tempo de 20 minutos refere-se a ação previa do ultrassom para retirada do açúcar natural da fruta, já o tempo de 40 minutos de processamento refere-se ao momento em que a fruta foi imersa na solução osmótica e 1440 minutos corresponde ao tempo final da secagem.

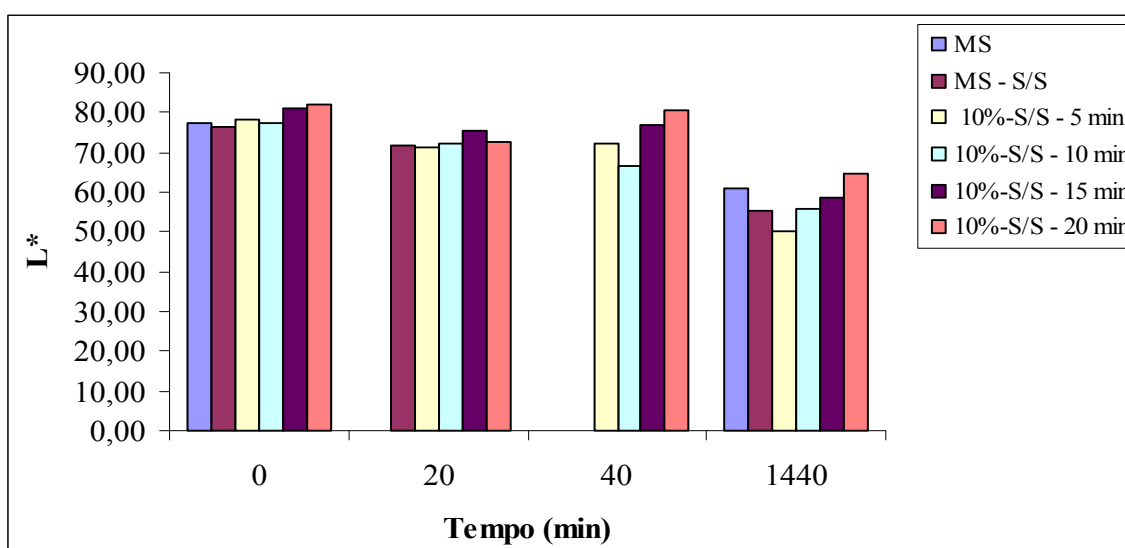


Figura 3 – Valores de luminosidade do abacaxi imerso em solução de 10% de Stévia sem sonificação em diferentes tempos, em função do tempo de secagem.

A Figura 3 mostra que, no início do processamento, bem como, após 20 minutos (tempo referente à ação previa do ultrassom), entre as amostras, quase não houve diferença nos valores de  $L^*$ . O que comprova a igualdade de coloração entre as mesmas.

Com a imersão da fruta na referida solução osmótica e no final da secagem, observa-se um aumento dos valores de  $L^*$  para as amostras que permaneceram em contato com a solução de estévia por 15 e 20 minutos, sendo os maiores valores para 20 minutos, ou seja, esse é o ponto onde a fruta escureceu menos mediante a incorporação da estévia na fruta.

O índice saturação ( $\Delta C$ ) pode melhorar o entendimento das variações de cor encontrada nas amostras. O  $\Delta C$  indica a variação do grau de intensidade do croma ( $a^*$  e  $b^*$ ) da amostra tratada com relação à *in natura*. Quanto menor o valor, menor a variação.



De acordo com o Apêndice 10 pode-se observar que os valores de  $\Delta C$  foram menores para as amostras que não sofreram ação do ultrassom no momento da imersão em solução osmótica de estévia independente de sua concentração.

Como os valores de  $\Delta C$  foram menores quando foi utilizado a concentração de 10% p/p de estévia. Com isso pode-se concluir que, nessa concentração sem sonificação no momento da imersão, seria o ponto onde a amostra pós-processamento teria cor mais próxima a fruta *in natura*, pois quanto menor a variação do grau de intensidade do croma mais a amostra tratada se aproxima da *in natura*.

A Figura 4 apresenta coloração do abacaxi pérola no processamento, em relação luminosidade ( $\Delta C$ ), quando imerso em solução osmótica de estévia a 10% p/p sem sonificação, onde, a amostra controle foi: MSCS que é a massa seca que foi sonificada previamente para remoção do açúcar natural da fruta.

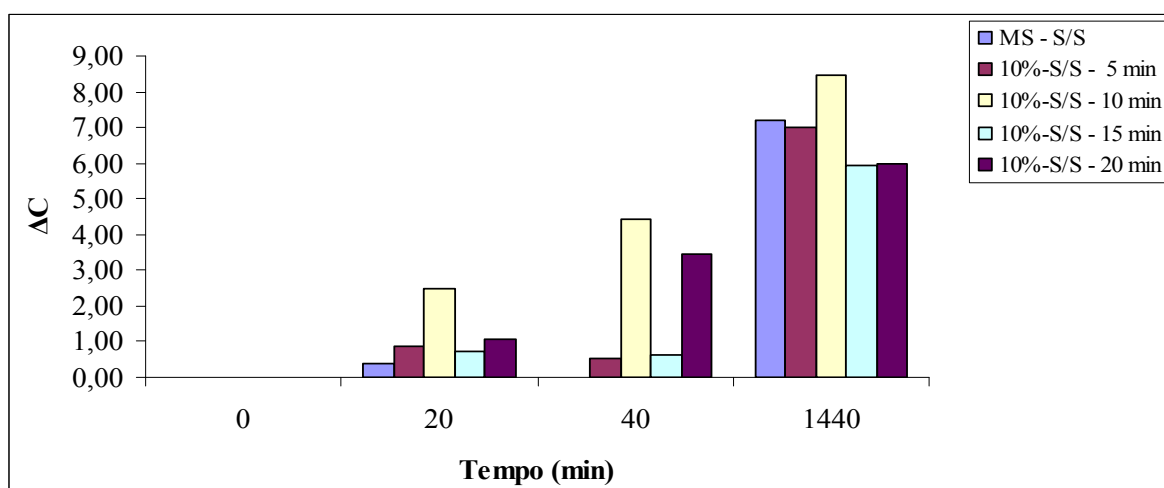


Figura 4 – Valores de cromaticidade do abacaxi imerso em solução de estévia a 10% sem sonificação em diferentes tempos, em função do tempo de secagem.

De acordo com a Figura 4, no tempo de 40 minutos, que é o tempo referente ao momento da imersão da fruta em solução osmótica, foi observado que, os menores valores de  $\Delta C$  foram encontrados com 10 e 15 minutos de contato da fruta com a solução de estévia.

Ao final da secagem foram observados os menores valores do referido parâmetro para os tempos de contato de 15 e 20 minutos. Nesses tempos de contato, da fruta com a solução osmótica, seria o tempo em que a fruta apresentaria coloração mais próxima a fruta *in natura* ao final da secagem.

De um modo geral todas as amostras apresentaram diferenças perceptíveis ( $\Delta E$ ) em relação a fruta *in natura* para todos os pontos do processamento (Apêndice 10). Sendo os menores valores apresentados quando a mostra foi colocada em contato com solução de estévia a 10% com sonificação, com o menor valor de  $\Delta E$  para essa condição em 15 minutos de contato da fruta com a referida solução.

## **CAPÍTULO 4 - INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM SOBRE ENZIMAS DETERIORANTES DO ABACAXI PÉROLA**

O escurecimento enzimático é um fenômeno que induz mudanças de cor, sabor indesejável e perdas nutricionais em vegetais. Dessa forma, a manutenção da cor natural das frutas é um indicativo de qualidade após o processamento (GIRNER *et al.*, 2002; GORNY *et al.*, 1999).

O escurecimento interno da polpa do abacaxi é um distúrbio fisiológico, o qual restringe severamente a exportação e está estreitamente ligado a composição química do fruto (SMITH, 1983; THÉ *et al.*, 2001; PAULL, 2003)

### **1. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **1.1. Avaliação da influência da temperatura e do tempo de sonificação na atividade enzimática do abacaxi.**

A avaliação da influência da temperatura e do tempo de sonificação sobre a atividade enzimática do abacaxi Pérola foi realizada, primeiramente, em um banho de ultrassom (Unique, modelo USC1400, 40 kHz, 135 watts de potência) sem agitação mecânica.

Após as etapas de lavagem, corte, remoção das extremidades da fruta e corte em cruz para a obtenção de amostras com forma semelhante a triângulos, o conjunto experimental de três amostras foi colocado em Béquer de 250 ml e imerso em água destilada na proporção 3:1 de água:fruta (p/p). Posteriormente, as amostras foram submetidas às ondas de ultrassom. A proporção água:fruta de 3:1 (p/p) foi escolhida por gerar a maior perda de sólidos pelo abacaxi, quando submetido a 20 minutos de sonificação, conforme demonstrado no item 3.1 do Capítulo 2

Após sonificação as amostras foram rapidamente submetidas a ação de um liquidificador e posteriormente filtradas em papel de filtro Whatman nº 1. O material filtrado foi mantido sob refrigeração e em seguida foi realizado os experimentos de determinação das enzimas Protease, Polifenoloxidase e Peroxidase, todas em triplicata.

Um grupo controle foi estudado separadamente sem aplicação de ultrassom, para fins de comparação do efeito deste sob as demais amostras. Este grupo foi denominado massa seca (MS).

#### **1.2. Protease**

A atividade proteolítica foi determinada segundo o método descrito por CHARNEY e TOMARELLI (1947). Para isso, 1,0 mL de azocaseína 0,5% em tampão acetato 50 mM, pH 5,0 à 37°C foi adicionado de 1 mL do suco (extrato enzimático). A mistura foi incubada em banho termostatizado à 37°C por 40 minutos.

Depois, com o intuito de precipitar o substrato não digerido pelas enzimas proteolíticas, adicionou-se 1 mL do ácido tricloroacético 10% (p/v). As amostras foram centrifugadas em centrífuga SIGMA (modelo 6K15) a 1610 g por 15 minutos.

Em seguida, transferiu-se 2 mL do sobrenadante contendo aminoácidos e oligopeptídeos de baixo peso molecular para um tubo de ensaio. Adicionou-se 2 mL de KOH 5 M formando um composto com cor característica.

A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro Spectrum®, modelo SP200UV a 428 nm. Uma unidade (U/mL) de atividade proteolítica foi definida como o correspondente à variação de absorbância de 0,01 unidades por minuto.

Foi preparado um branco seguindo o mesmo procedimento mostrado acima, no entanto, após a adição de azocaseína, transferiu-se imediatamente 1 mL do ácido tricloroacético para impedir que ocorresse qualquer reação enzimática.

A atividade enzimática foi expressa através da diferença de absorbância entre as amostras enzimáticas analisadas com seus respectivos brancos, sendo 1 unidade =  $\Delta$  Absorbância/0,01/tempo de reação por mL do estrato enzimático.

### **1.3. Peroxidase (POD)**

A extração da enzima peroxidase (POD EC 1.11.1.7) foi realizada conforme método de WISSEMAN e LEE (1980) com modificações. Aliquotas de 10 ml do filtrado ou do suco *in natura* e daqueles submetidos ao tratamento com ultrassom, foram adicionadas de 10 ml de tampão fosfato potássio monobásico 0,05M pH 7,0 contendo 1% de polivinilpirrolidona (PVP). Em seguida a mistura foi submetida à centrifugação (10.733 x g/ 30min, a 4°C), em centrífuga. O sobrenadante foi usado como fonte da enzima.

A atividade de POD foi determinada seguindo metodologia adaptada de MATSUNO e URITANI (1972), substituindo-se o substrato o-fenilenodiamina por guaiacol 1%, adicionado diretamente à solução tampão fosfato-citrato 0,1M pH 5,0.

As leituras de absorbância foram realizadas a 470 nm em espectrofotômetro e considerou-se uma unidade de atividade enzimática (UAE) de peroxidase como a quantidade de atividade enzimática que produz uma mudança de 0,001 unidades de absorbância. Os resultados foram expressos em UAE/min/mL de fruta ou suco.

### **1.4. Polifenoloxidação (PPO)**

A extração da enzima polifenoloxidação (PPO EC 1.14.18.1) foi realizada conforme método de WISSEMAN e LEE (1980) com as mesmas modificações adotadas para extração da peroxidase. A atividade enzimática foi determinada incubando-se uma alíquota de 0,3 ml de extrato e 1,85 ml de tampão fosfato 0,1 M pH 6,0, contendo 0,1 M de KCl e 0,1 M de catecol, durante 30 minutos, a 30°C.

A reação foi interrompida pela adição de 0,8 ml de HClO<sub>4</sub> 2 N. As leituras de absorbância foram realizadas a 395 nm e considerou-se uma unidade de atividade enzimática (UAE) de polifenoloxidase como a quantidade de atividade enzimática que produz uma mudança de 0,001 unidades de absorbância. Os resultados foram expressos em UAE/min/mL de fruta ou suco.

### **1.5. Avaliação do efeito da densidade de potência do ultrassom de ponteira sobre a atividade enzimática no suco e na fruta do abacaxi pérola.**

Para avaliar o efeito da variação de densidade de potência sobre a atividade enzimática do abacaxi Pérola utilizou-se um ultrassom tipo ponteira, em diferentes densidades de potência.

Os experimentos foram realizados em triplicata, de acordo com o procedimento descrito no item 2.1 do Capítulo 2.

Para obtenção do suco de abacaxi Pérola, as frutas foram trituradas em multiprocessador, obtendo-se amostras em forma de suco, que assim como as frutas (em pedaços) foram submetido a sonificação em desruptor de células, variando a densidade de potência de 100 a 500 Watts, por 20 minutos. Mantendo-se a proporção água:fruta em 3:1 (p/p).

Dois grupos controle foram realizados separadamente, um para o suco e um para a fruta *in natura*. Nestes, não houve aplicação de ultrassom, para fins de comparação do efeito deste sob as demais amostras. Estes grupos foram denominados massa seca do suco (MS-S) e massa seca da fruta (MS-F), respectivamente.

Após o processo de sonificação, as amostras seguiram para as análises de atividade enzimática, conforme descrito nos itens 2.2; 2.3 e 2.4 deste Capítulo.

### **1.6. Análise Estatística**

Todas as análises foram realizadas em triplicata sendo calculadas a média e o desvio padrão de cada uma delas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ao nível de 95% de confiança, utilizando o programa estatístico Statistica (Statsoft) versão 7.0.

## **2. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **2.1. Efeito do ultrassom e da temperatura sobre a atividade enzimática do abacaxi pérola**

A determinação de proteínas foi realizada a fim de confirmar a desnaturação protéica nos pontos estudados em que houve uma diminuição da atividade enzimática.

Pois um dos mecanismos de inativação bastante encontrado em trabalhos científicos aponta que um alto nível de potência no ultrassom pode inativar enzimas devido a sua desnaturação (O'DONNEL, TIWARI, BOURKE e CULLEN, 2010).

O Apêndice 11 apresenta as condições experimentais e os resultados para atividade enzimática de protease, polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD), presentes no abacaxi pérola que sofreu ação ou não do banho de ultrassom (Unique modelo USC1400, 40 kHz, 135 watts de potência).

A Figura 1 apresenta o comportamento da protease em abacaxi pérola, quando processado com e sem a utilização do ultrassom em diferentes temperaturas.

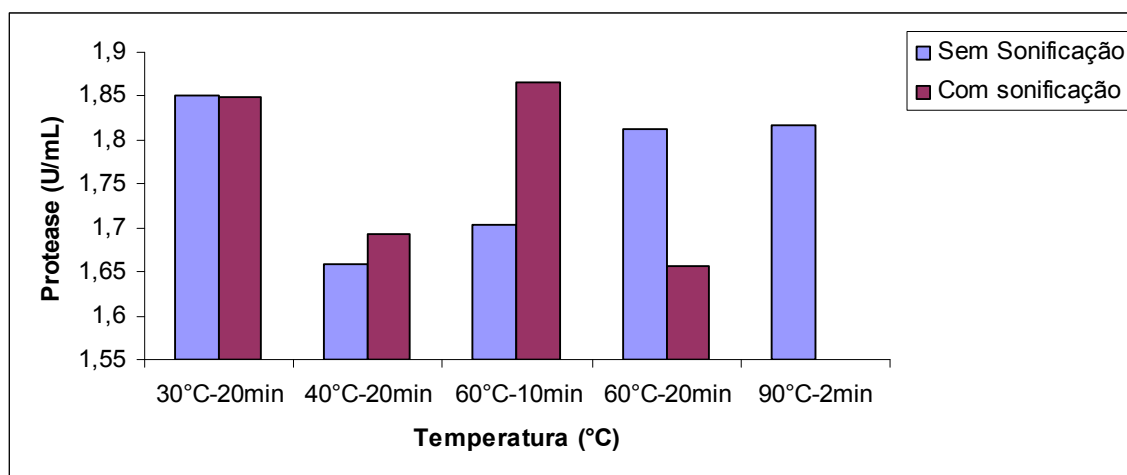


Figura 1 – Atividade da enzima protease em abacaxi pérola sob diferentes condições operacionais.

Conforme a Figura 1, a 30 °C quase não houve diferença perceptível da atividade enzimática da protease no abacaxi pérola, em relação ao uso do ultrassom. Nessa temperatura o ultrassom não teve efeito sob a protease.

As maiores inativações enzimáticas dessa enzima, se deram nas temperaturas de 40 e 60°C, ambas em 20 minutos de processamento. Quando a amostra não foi sonificada, a máxima redução da atividade enzimática da protease foi observada a 40 °C após 20 minutos de processamento. A atividade dessa enzima volta a crescer nas temperaturas seguintes. Quando a amostra sofreu ação do ultrassom, a atividade da protease diminuiu com o aumento da temperatura, tendo redução máxima quando processada por 20 minutos a 60 °C.

Na temperatura de 60°C observou-se que, quando o ultrassom foi utilizado por mais tempo (20 minutos), a atividade da protease volta a cair, ou seja, mesmo com o aumento da temperatura a ação do ultrassom conseguiu reduzir a atividade da referida enzima devido a desnaturação protéica, formação de radicais livres pela sonólise da molécula de água ( $H_2O \rightarrow OH^- + H^+$ ), e pelas forças de cisalhamento resultantes da formação de bolhas de cavitação (MASON *et al.*, 1994; SUSLICK, 1988).

A maioria dos processos que ocorrem nos tecidos vegetais está associada a reações enzimáticas, cuja velocidade é controlada pela temperatura (SARANTÓPOULOS, 1999).

Vários fatores influenciam na inativação enzimática em alimentos tratado com ultrassom, principalmente a característica peculiar de cada alimento no que diz respeito aos seus componentes. Outros fatores como concentração de enzimas, pH e composição do meio também podem afetar o controle enzimático (O'DONNE *et al.*, 2010).

A Figura 2 apresenta o comportamento da polifenoloxidase em abacaxi pérola, quando processado com e sem a utilização do ultrassom em diferentes temperaturas.

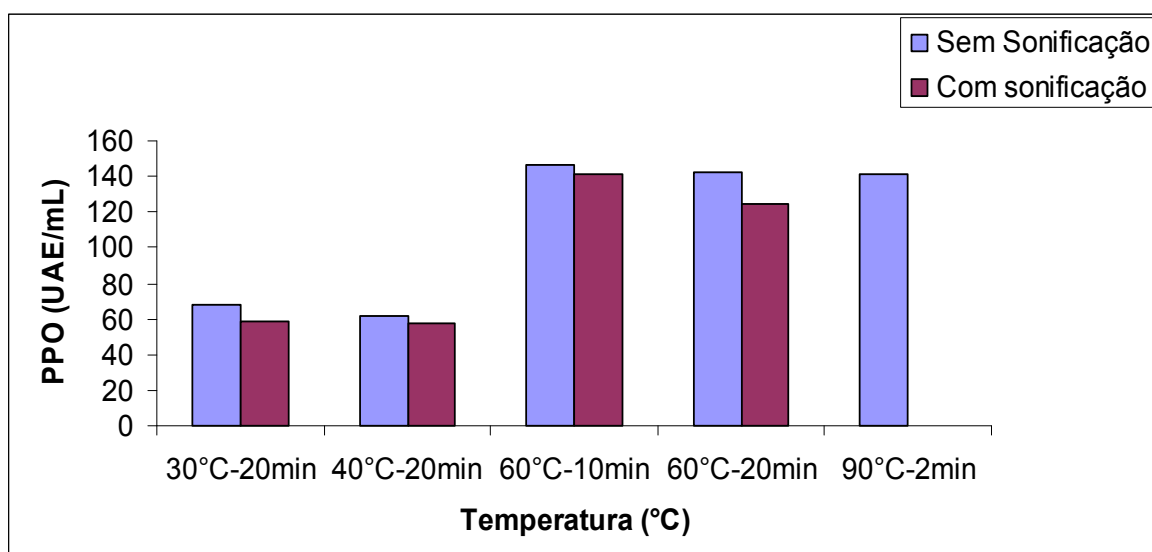


Figura 2 – Atividade da enzima polifenoloxidase em abacaxi pérola sob diferentes condições operacionais.

De acordo com a Figura 2, a maior inativação da enzima polifenoloxidase se deu nas temperaturas de 30 e 40 °C. A maior inativação dessa enzima (57,14 UAE/mL) se deu quando o ultrassom foi aplicado a 40 °C por 20 minutos. Após essa temperatura os valores para a atividade enzimática da PPO cresceram bastante.

Assim como na protease, a 60 °C a atividade da PPO é um pouco reduzida quando a sonificação é realizada por um tempo maior. A intensidade cavitacional tem sido um dos principais mecanismos propostos para inativação enzimática de alimentos submetidos ao tratamento ultrassônico. A formação de bolhas de cavitação resulta em força de atrito que pode desnaturar as proteínas. As enzimas também podem ser desnaturadas pelos radicais livres gerados durante a sonólise das moléculas de água (MASON, 1998; SUSLICK, 1989).

Segundo GUERRA (2010) a temperatura ótima de estabilidade da enzima polifenoloxidase é de 60°C, apresentando atividade enzimática em 90°C. Este é, provavelmente, o motivo pelo qual obtivemos as maiores atividades enzimáticas dessa enzima na temperatura de 60°C.

Esse aumento da atividade enzimática da PPO também foi observado por LÓPES *et al.*, (1994) onde o aumento da atividade da enzima foi explicado pela maior interação da enzima com o substrato, devido ao rompimento da parede celular vegetal,

somente em seguida as enzimas são afetadas pelos efeitos sinérgicos de calor e pressão do ultrassom, ocasionando assim a sua desnaturação.

Desde o trabalho de DEMEAUX e BIDAN (1967), sabe-se que a inativação da PPO não é completa a 60°C e que esta enzima é muito resistente ao calor. KHAN e ROBINSON (1993) afirmam que os tratamentos térmicos que utilizam temperatura elevada por curto tempo (HTST - High Temperature Short Time), são pouco efetivos para uma inativação irreversível de enzimas.

A ação da peroxidase (POD) e da polifenoloxidase (PPO) é sinérgica. A POD tem sua atividade limitada pela disponibilidade de peróxido de hidrogênio. Normalmente, quando a PPO está presente e gerando peróxido de hidrogênio, a POD é ativa e incrementa a degradação de fenóis. Além disso, as quinonas produzidas pela PPO podem ser substratos para a POD (ROBARDS *et al.*, 1999).

A enzima peroxidase é uma glicoproteína que está envolvida em vários processos fisiológicos, variando em especificidade de substrato, estabilidade térmica, peso molecular e ponto isoelétrico (ABELES e BILES, 1991; ROBINSON, 1991).

A Figura 3 apresenta o comportamento da peroxidase em abacaxi pérola, quando processado com e sem a utilização do ultrassom em diferentes temperaturas.

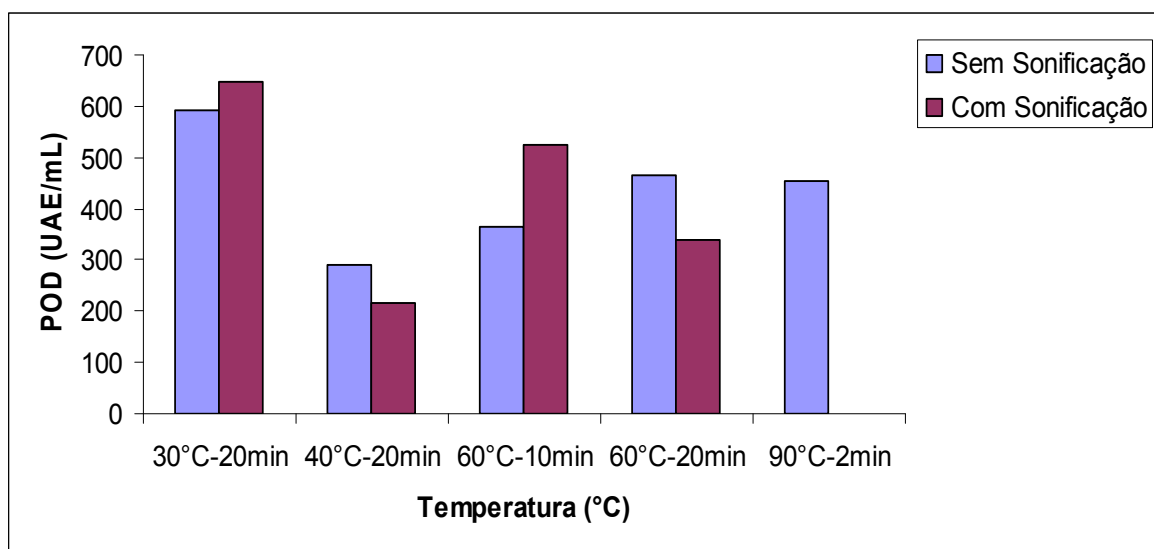


Figura 3 – Atividade da enzima peroxidase em abacaxi pérola sob diferentes condições operacionais.

Pela Figura 3 observou-se os maiores valores de atividade da POD a 30 °C para as amostras com e sem sonificação. A amostra que não sofreu sonificação, teve sua atividade enzimática reduzida na temperatura de 40 °C, sendo que nas temperaturas seguintes, sua atividade volta a crescer.

Na temperatura de 40 °C a amostra que sofreu ação da sonificação por 20 minutos, apresentou máxima redução dessa enzima (214,22 UAE/mL). Na temperatura seguinte analisada, ação do ultrassom por 20 minutos, foi capaz de reduzir a atividade da peroxidase, se comparada na mesma temperatura, mas com ação de metade do tempo de sonificação (10 minutos).

Algumas pesquisas (CHOI e KIM 1994; SAKAKIBARA *et al.*, 1996), relatam o aumento da atividade de enzimas livres sobre leves irradiações ultrassônicas, possivelmente pela quebra de grandes estruturas moleculares, tornando-as mais acessíveis para reagirem com os substratos, neste caso se torna imprescindível a correta escolha de parâmetros de processos.

Para a potência estudada nesse estudo, pode-se observar que ela não apresentou grande influência sobre a variável resposta, talvez um aumento dessa potência possa influenciar mais significativamente sobre a atividade enzimática da peroxidase.

## 2.2. Efeito da potência ultrassônica na atividade enzimática da fruta e do suco do abacaxi pérola

A atividade enzimática do abacaxi Pérola, sob as formas de fruta *in natura* e suco de fruta, sonificada em diferentes densidades de potência no ultrassom tipo ponteira, é apresentada na Apêndice 12.

Estudos recentes aplicaram o processamento com ultrassom a fim de obter resposta a cerca da inativação de enzimas deteriorantes de suco de frutas e vegetais (KULDILOKE, 2002; LO'PEZ *et al.*, 19998; VERCET *et al.*, 1999 e VERCET *et al.*, 2002), como protease, polifenoloxidase e peroxidase.

De acordo com o Apêndice 12, valor inicial da atividade enzimática da protease, no suco (sem tratamento ultrassônico), foi de 1,95 U/mL, já na fruta *in natura*, a atividade da mesma enzima foi 76,77% maior (2,54 U/mL).

A Figura 4 apresenta o comportamento da protease em abacaxi pérola, quando processado em diferentes densidades de potência.

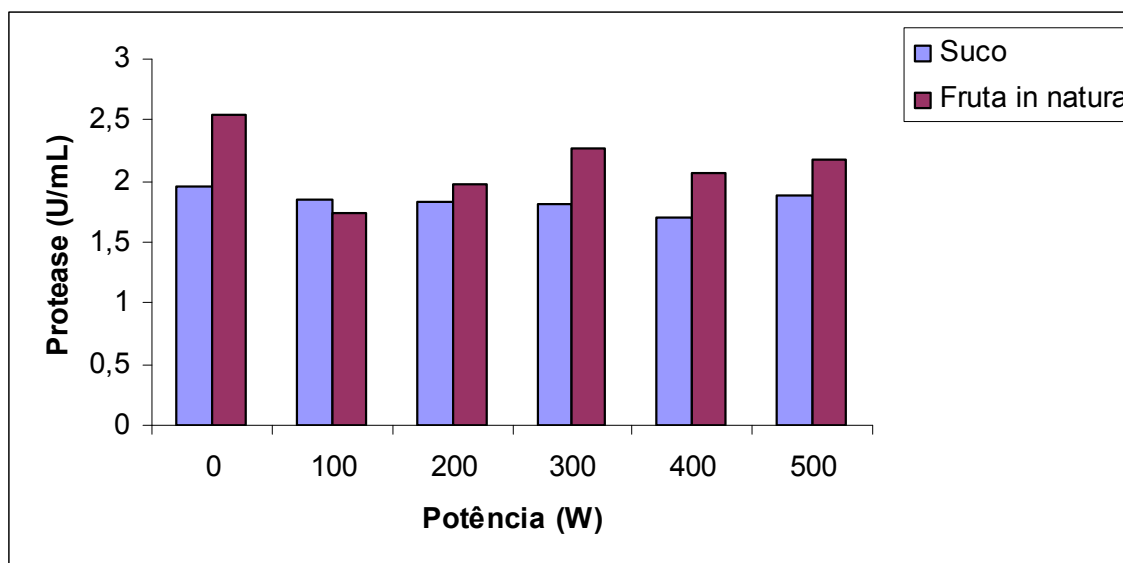


Figura 4 – Atividade da enzima protease em abacaxi pérola sob diferentes densidades de potência.



No geral os menores valores encontrado para a atividade da protease no abacaxi foi observado para o suco. Pela Figura 4 observou-se que, os valores dessa enzima no suco quase não variam em relação a amostra controle (suco sem tratamento ultrassônico). Valores semelhantes foram encontrados por COSTA (2011) para sucos de abacaxi sonificados em diferentes densidades de potência.

Já a atividade da protease na fruta, apresentaram pouca redução em relação a fruta controle (fruta sem tratamento ultrassônico), sendo o menor valor encontrado quando foi utilizado potência de 100W no ultrassom de ponteira.

A Figura 5 apresenta o comportamento da polifenoloxidase (PPO) em abacaxi pérola, quando processado em diferentes densidades de potência.

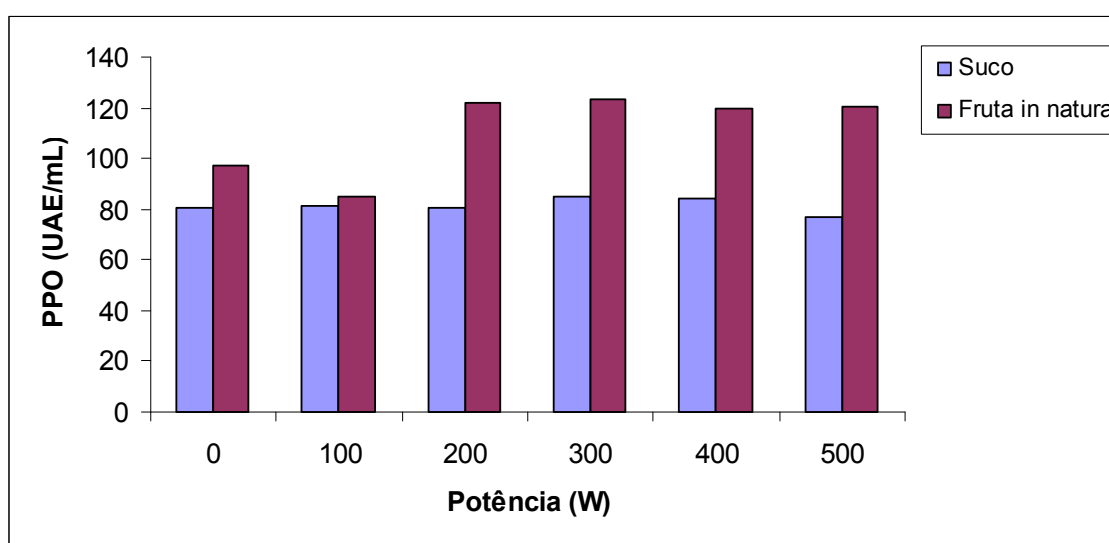


Figura 5 – Atividade da enzima polifenoloxidase em abacaxi pérola sob diferentes densidades de potência.

Conforme exposto na Figura 4 os valores para a atividade enzimática da PPO no suco de abacaxi pérola em relação às potências empregadas pelo ultrassom, quase não variaram entre elas, sendo percebida uma pequena redução da atividade dessa enzima quando o suco foi exposto a maior densidade de potência desse estudo (500W).

Para a fruta, observou-se redução da atividade da PPO quando a mesma sofreu ação de 100W de potência provocada pelo ultrassom de ponteira, se comparada a atividade dessa mesma enzima com a amostra controle (fruta sem ação do ultrassom de ponteira). Com o efeito das potências seguintes, nesse estudo, a atividade da PPO volta crescer, superando os valores encontrados no início do processamento (fruta *in natura*).

Segundo FURTUNATO (2002) as enzimas podem se tornar novamente ativas após a inativação térmica, fenômeno conhecido por renaturação, o qual ocorre com algumas enzimas depois de cessado o agente causador da desnaturação, no caso o tratamento térmico. Nesse estudo foi observado a renaturação da enzima em questão quando foi utilizado potências maiores que 100W no ultrassom de ponteira.

O'DONNELL *et al.*, (2010) afirmam que a potência das ondas ultrassônicas influencia de maneira importante na atividade enzimática. Pesquisas comprovam que a atividade de enzimas livres aumenta sob irradiação ultrassônica elevada (CHOI e KIM 1994; SAKAKIBARA *et al.*, 1996).

A Figura 6 apresenta o comportamento da peroxidase (POD) em abacaxi pérola, quando processado em diferentes densidades de potência.

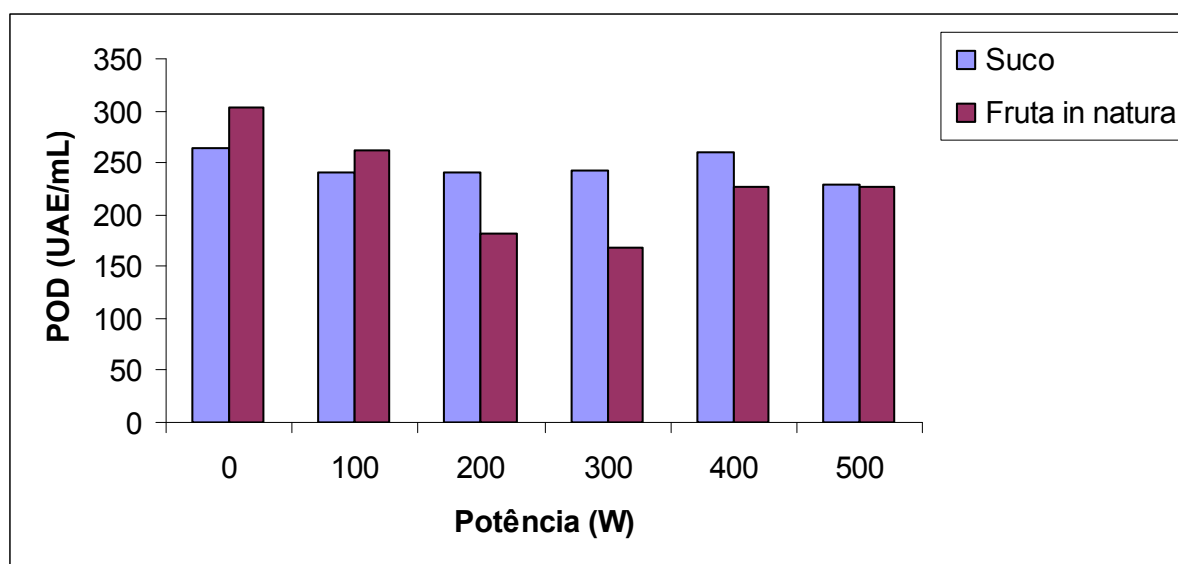


Figura 6 – Atividade da enzima peroxidase em abacaxi pérola sob diferentes densidades de potência.

Pela Figura 6 percebemos que, para o suco, quase não houve diferença nos valores de atividade da POD das amostras que sofreram ação do ultrassom de ponteira com o controle (suco sem sonificação), mostrando que as diferentes densidades de potências estudadas, não interferiram significativamente, na atividade da peroxidase.

Já para a fruta, observou-se uma redução nos valores de atividade dessa enzima em relação ao controle, sendo os menores valores encontrados quando o fruto sofreu ação de 200 e 300W de potência do ultrassom de ponteira. Nas potências seguintes, estudadas, a atividade da referida enzima, volta a crescer, mas seu valor não supera o valor da fruta *in natura* (sem ação do ultrassom).

Em estudos realizados por ERCAN e SOYSAL (2011) a aplicação do ultrassom em diferentes níveis de potência, causaram a inativação da peroxidase do tomate em um curto período de tempo, quando comparado ao tratamento térmico. Sob baixa potência do ultrassom, onde a peroxidase foi inativada apenas parcialmente, foi observado a regeneração da mesma, este fenômeno não foi observado quando a enzima foi totalmente inativada.

WU e LIN (2002) relataram aumento da atividade da POD de ginseng com o aumento da potência ultrassônica.

ASHOKKUMAR *et al.*, (2008) comentaram que, atividade antioxidante de componentes, tais como flavonóides, podem aumentar devido a um aumento no grau de

hidroxilação das moléculas, pelos radicais  $\text{OH}^*$  formados no processamento com ultrassom.

Segundo ERCAN e SOYSAL (2011) amostras tratadas ao ultrassom mantiveram uma maior quantidade de vitamina C que as amostras tratadas termicamente. Desse modo, os autores enfatizam que o processamento ultrassônico é uma alternativa ao tratamento térmico tradicional, e que pelo tempo de tratamento ser mais curto, uma maior retenção de vitamina C pode ser alcançada.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que, o uso do ultrassom favoreceu a remoção de sólidos solúveis da fruta, levando à produção de abacaxi com baixo teor de açúcar.

A difusividade de água da fruta aumentou 2,8 vezes quando o abacaxi, na proporção 3:1 de água para fruta (p/p), sofreu ação do ultrassom de ponteira (200W), em água destilada como meio líquido, por 5 minutos. Isto levou uma redução de 49,66% do tempo necessário para remover 90% da água inicial dessa fruta, reduzindo o tempo de secagem.

Submetendo o abacaxi ao banho de ultrassom na proporção 3:1 de água para fruta (p/p), por 20 minutos para remoção dos açúcares da fruta, seguida de impregnação em uma solução de estévia a 10%, sobre ação do banho de ultrassom, por apenas 0,042 minutos, seria o necessário para produção de abacaxi com valor energético reduzido em 17,97%, comparada a fruta *in natura*.

De um modo geral, utilizando o ultrassom como pré-tratamento a secagem de abacaxi Pérola por pouco tempo (10 a 20 minutos), mantém as cores da fruta *in natura*, mesmo utilizando concentrações de solução de Estévia (10%), como agente osmótico.

Do mesmo modo, baixas potências do ultrassom de ponteira (200 a 300W em média) apresentam-se de maneira bastante eficaz a redução da atividade enzimática das chamadas “enzimas do escurecimento” (polifenoloxidasas e peroxidases) no abacaxi Pérola, sendo estas, um dos maiores entraves a exportação dessa fruta.

Mediante o exposto, a utilização do ultrassom na indústria de alimentos se consolida como uma eficiente tecnologia na redução de tempo de processamento e na participação deste no desenvolvimento de novos produtos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELES, F. B.; BILES, C. L. Characterization of peroxidase in lignifying peach fruit endocarp. **Plant Physiology**. v.95, p. 269-273, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Especificações de cores de acordo com o sistema de notação Munsell – NBR 12694**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ADEKUNTE, A. O.; TIWARI, B. K.; CULLEN, P. J.; SCANNEL, A. G. M.; O'DONNELL, C. P. Effects of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**. v. 122, p. 500-507, 2010.

AGRRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Sílvio Corrêa, *et al.*, Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, Santa Cruz, 2008.

AGRIOS, G. N. (Ed.). **Plant pathology**. 5. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, p.922, 2005.

AGUIAR, A. M. L. **Avaliação de concentração osmótica para obtenção de banana passa**. Campinas: Unicamp, 2006. Dissertação, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

AHMED, J.; SHIVHARE, U. S.; KAUR, M. Thermal colour degradation kinetics of mango puree. **International Journal of Food Properties**, v. 5, p. 359-399, 2002.

ANDRADE, S. A. C.; NETO, B. B.; NÓBREGA, A. C.; AZOUBEL, P. M.; GUERRA, N. B. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana L.*). **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 551-555, 2007.

ASHOKKUMAR, M.; SUNARTIO, D.; KENTISH, S.; MAWSON, R.; SIMONS, L.; VILKHU, K. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: a preliminary study on a model system. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, p. 155-160, 2008.

AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 291-295, 2004.

BALLS, A. K.; THOMPSON, R.R.; KIES, M.W. Bromelain. Properties and commercial production. **Ind. Eng. Chemistry**, v.33, p.950-953, 1941.

BHARDWAJ, M. C. Non contact ultrasound: the final frontier in non destructive analysis. **Boalsburg: Second Wave Systems**, 50p. 2002

BOUDHRIOUA, N. *et al.*, Influence of ripeness and air temperature on change in banana texture drying. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 115-121, 2002.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005, Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis, revogando a resolução – CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília 23 de setembro de 2005.

BRAVERMAN, J. B. S. Vitaminas. In: **Introducción a la bioquímica de los alimentos**. Barcelona: Omega, cap. 14, p. 206-239. 1967.

BRITO, C. A. K. E. **Estudo bioquímico das peroxidases brutas de abacaxi *Ananás comosus* (L.) Merrill: cultivar IAC gomo-de-mel e clone IAC-1**. Campinas, (Dissertação de mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. 2001.

BROTREL, N.; CARVALHO, V.D. de. Efeito do peso do fruto no escurecimento interno e qualidade do abacaxi „Smooth Cayenne“. I-Atividade de polifenoloxidase, peroxidase e compostos fenólicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.6, p.733-42, 1993.

BUCKIN, V.; O'DRISCOLL, B.; SMYTH, C. Ultrasonic spectroscopy for material analysis: recent advances. **Spectrosc. Europe**, v.15, p.20–25, 2003.

CAMPOS, A. D.; FERREIRA, A. G.; HAMPE, M. M. V.; ANTUNES, I. F.; BRANÇÃO, N.; SILVEIRA, E. P.; OSÓRIO, V. A.; AUGUSTIN, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão a antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 637-643, 2004.

CHARNEY, J.; TOMARELLI, R. M.; A colorimetric method for the determination of the proteolytic activity of duodenal juice. **Journal Biologic. Chemistry**, v. 170, n. 23: p. 501-505, 1947.

CHEN, H. E.; PENG, H. Y. e CHEN, B. H. Changes of carotenoids colour and vitamin A contents during processing of carrot juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 43, p. 1912-1918, 1995.

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. Ed. Lavras: UFLA, 783 p. 2005

CHOI, J. H.; KIM, S. B. Effect of ultrasound on sulphuric acid-catalysed hydrolysis of starch. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 3, p. 178-184, 1994.

CHOI, M. H.; KIM, G. H.; LEE, H. S. Effects of ascorbic acid retention on juice colour and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research international**. v. 35, p. 753-759, 2002.

CARDOSO, R *et al.*, Efeito do tempo, luz e temperatura na cor da geléia de jambo vermelho (*Eugenia malaccensis* L.), **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 28-31, 1997.

CARDELLO, H. M. A. B.; A. P. DA SILVA, M. A.; DAMÁSIO, M. H. Análise tempo-intensidade dos estímulos doce e amargo de extrato de folhas de estêvia [*Stevia*

*rebaudiana* (Bert.) Bertoni] em doçura equivalente a sacarose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.19, n. 2, p. 163-169., 1999.

CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. (Eds.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ. 2005.

CLEMENTE, E.; PASTORE, G.M. Peroxidase and polyphenoloxidase, the importance for food technology. **Sociedade Brasileira ciência tecnologia alimentos**. v.1, p.59-66, 1998.

COCOZZA, F. **Maturação e conservação de manga Tommy Atkins submetida à aplicação pós-colheita de metilciclopropeno**. 2003. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2003.

CRAMMER, B.; IRAN, R. Sweet glycosides from the stevia plant. **Chemistry in Britain, London**, v. 22, p. 915-918, 1986.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Pergamon Press, Oxford, 1975.

CROSBY, L. Juices pasteurized ultrasonically. **Food Production/Management**. 1982.

CUNHA, G. A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. S. O abacaxizeiro: cultivo, agroindústria e economia. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 480p.

CUNHA, G. A. P.; MATOS, A. P.; SOUZA, L. F. S.; SANCHES, N. F.; REINHARDT, D. H. R. C.; CABRAL, J. R. S. **A cultura do abacaxi**, v.12, p. 18-21, 1994.

DIONELLO, R. G.; BERBER, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, R. C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. Secagem de fatias de abacaxi *in natura* e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 232-240, 2009.

DOYMAZ, I.; PALA, M. The thin-layer characteristics of corn. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 125-130, 2007.

DUKHIN, A. S.; GOETZ, P. J.; TRAVERS, B. Ultrasound for characterizing liquid based food products. 1 – acoustic spectroscopy. Mount Kisco: **Dispersion Technology**, 2003. 26f.

DURIGAN, J. F.; CASSARO, K. P. Hortaliças minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**. v. 18. p. 159-161., 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Informação Tecnológica. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e sucos de frutas / Embrapa Agroindústria de Alimentos, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Brasília, 2003.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br>>. Acessado em: 28 Junho de 2011.

ERCAN, S. S.; SOYSAL, Ç. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, p. 689-695, 2011.

FAO/WHO/UNU. **Human energy requirements**. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Rome: Food and Agriculture Organization, 2001.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas**. Tradução: Flôrencia Cladera Oliveira 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 602 p. 2006.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L.; Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 188-193, 2006a.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, p. 492-498, 2006b.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration, **Food Science and Technology** v. 41 p. 604–610. 2008a.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying pineapples, **Ultrasonics Sonochemistry** v. 15 p. 1049–1054. 2008b.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Use of ultrasound as pre-treatment for drying fruits: Dehydration of banana, **Journal of Food Engineering** v 82 p. 261–267. 2007a.

FERNANDES, F.A.N.; RODRIGUES, S. **Food and Bioprocess Technology**. 2007b.

FERNANDES F. A. N., GALLÃO M. I. S.; RODRIGUES Efeito da desidratação osmótica e tratamento de ultra-som pré-estrutura da célula: desidratação melão. **Ciência e Tecnologia Alimentar – LWT.**, 2007.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: UFPB, p. 229. 2004

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 186-190, 2008.

FERNANDES, F. A. N.; GALLAO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of Osmosis and Ultrasound on Pineapple Cell Tissue Structure during Dehydration. **Journal of Food Engineering** , v. 90, p. 186-190, 2009.



- FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acriba, 501-503p. 1993.
- FORNI, E. *et al.*, The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Research International**, v. 30, p. 87-94, 1997.
- FOX, J. B. Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. **Journal of Food Science**, v. 45, p. 1745, 1980.
- FUENTE-BLANCO, S; BLANCO, A. A Alimentação processo de secagem por ultrassom de potência. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 44, p. 523-527. 2006.
- FURTUNATO, A. A. **Estudo da cinética de inativação térmica da pectina esterase e peroxidase presente na polpa de cajá (*Spondias lutea*)**. Rio Grande do Norte, 74p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). 2002.
- GALLEGO-JUÁREZ J. A; RODRÍGUEZ-CORRAL, G; GÁLVEZ-MORALEDA, J. C.; YANG T. S. **Uma tecnologia nova intensidade ultra-sônica para a desidratação dos alimentos**. Tecnologia de secagem, 17, 597-608. 1999.
- GARCIA-NOGUEIRA, J. **Influence of ultrasound assisted osmotic dehydration of strawberries on drying time, cell structure and sugar substitution by Stevia extracts**. University of Nebraska, USA, MS Thesis, 2009.
- GIRNER, J.; ORTEGA, M.; MESEGUE, M.; GIMENO, V.; BARBOSA-CANOVAS, G. V.; MARTIN, O. Inactivation of peach polyphenoloxidase by exposure to pulsed electric fields. **Journal of Food Science**. v. 67, n. 4, p. 264-267, 2002.
- 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, 2007.
- GONÇALVES, N. B.; CARVALHO, V. D. Características da fruta. In: GONÇALVES, N. B. (Org.). **Abacaxi. Pós-colheita**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Frutas do Brasil; 2000.
- GORNY, J. R.; HESS-PIERCE, B.; KADER, A. A. quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. **Journal of Food Science**. v. 64, n. 3, p. 429-432, 1999.
- GRANADA, G. G.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C. R. B. **Abacaxi: produção, mercado e subprodutos**. B. CEPPA, v. 22, n. 2, p. 405-422, 2004.
- GUERRA, I. C. S. **Caracterização parcial de enzimas oxidativas e quantificação de compostos fenólicos em frutos de três genótipos de cajazeira (*Spondia mombin* L.) nos estádios de maturação verde e maduro.** Recife. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRP), 2010.

HAARD, N. F. Physiological roles of peroxidase in postharvest fruits and vegetables. In: ORY, R. L.; S. T ANGELO, A. T., Ed. **Enzymes in food and beverages process**, ACS Symposium Series, cap.9, p. 143- 171. 1977.

HAMMER, F. E. Oxidoreductases. In: NAGODAWITHANA, T.; REED, G (Ed). **Enzymes in food processing**, England: Academic Press, p.233-243. 1993.

HAWLADER, J. N. A.; UDDIN, M. S.; HO, J. C.; TENG, A. B. W. Drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 14, p. 265-268, 1991.

HEMEDA, H.M.; KLEIN, B. P. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, p. 184-185, 1990.

HOLLINGSWORTH, P. Sugar replacer expands product horizons: artificial sweeteners face sweet'n'sour consumer market. **Food Technology**. Chicago, v. 56, n. 7, p. 24-27, 2002.

HUNTERLAB. **Applications Note**. v. 13, n. 2, 2001. Disponível em: <<http://www.hunterlab.com/pdf/color.pdf>> Acessado em 21 de Novembro de 2011.

HUNTERLAB. **Applications Note**. v. 8, n. 7, 1996. Disponível em: <<http://www.hunterlab.com> > Acessado em 21 de Novembro de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br> > Acessado em 8 Junho de 2011.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P, **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JENA, S.; DAS, H. Modelling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 425-432, 2005.

JI-HYUN JANG e KWANG-DEON MOON. Inhibition of polyphenoloxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. **Food Chemistry**, v. 14, n. 2, p. 444-449., 2011.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, p. 243-250, 2000.

KHIN, M. M; ZHOU, W.; PEREIRA, C. O. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 847-895, 2006.

KROKIDA, M. K. *et al.*, Drying related properties of apple. **Drying Technology**, New York, v. 18, n. 6, p. 1251-1267, 2000.

KULDILOKE, J. **Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juices**. Berlin, 2002. [Doctoral dissertation – Technical University of Berlin].

LABANCA, E. R. G. **Purificação parcial de elicitores presentes em *Saccharomyces cerevisiae*: atividade como indutores de resistência em pepino (*Cucumis sativus*) contra *Colletotrichum lagenarium* e da síntese de gliceolinas em soja (*Glycine max*)**. 46 2002. 107p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura. “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. A.; GUERRA, N. B. Correlação entre o teor de antocianinas e caracterização cromática de polpas de diferentes genótipos de aceroleira. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 10, n. 1, p. 51-55, 2007.

LIMA, S. L. T.; JESUS, M. B.; SOUSA, R. R. R.; OKAMOTO, A. K. LIMA, R.; FRACEDO, L. F. Estudo da Atividade Proteolítica de Enzimas Presentes em Frutos. **Química nova na escola**. p. 47-49. 2008.

LIMA F. O. F.; VALOIS, A. C. C.; LUCAS, Z. M. (Ed.). **Estêvia**. Sistema de Produção 5, (INFOTECA-E). 51 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Sistemas de Produção, 5). Dourados, MS. 2004.

LOMBARD, G. E.; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRE'S, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 277-284, 2008.

LÓPEZ, P.; SALA, F. J.; DE LA FUENTE, J. L.; CONDON, S.; RASO, J.; BURGOS, J. Inactivation of peroxidase, lipoxygenase and polyphenol oxidase by manothermosonication. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 252-256, 1994.

LOPES, R. P.; SILVA, J. S.; RESENDE, R. C. Princípios básicos da psicometria. In: Silva, J. S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda fácil. n. 1, p. 39-62. 2000.

LOZANO, J. E.; IBARZ, A. Colour change in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 31, n. 1, p. 365-373, 1997.

MARCOTTE, M.; TOUPIN, C. J.; LE MAGUER, M. Mass transfer in cellular tissues. Part I: the mathematical model. **Journal of Food Engineering**, v. 13, p. 199-220, 1991.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2008.

MASON, T. J.; PANIWNKY, L.; LORIMER, J. P. O uso do ultra-som na tecnologia de alimentos. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 3, p. 253-256. 1996.

MASON, T. J. Power ultrasound in food processing – the way forward. In **Ultrasonics in food processing**. Glasgow: Blackie Academic and Professional. p. 104–124, 1998.

MASON, T. J.; LORIMER, J. P.; BATERS, D. M.; ZHAO, Y. Dosimetry in sonochemistry: the use of aqueous terephthalate ion as a fluorescence monitor. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 1, p. 91-95, 1994.

MATOS, E. H. S. F. **Dossiê Técnico sobre processamento de frutas desidratadas**, Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas, Brasília: UnB, 2007. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upçoad/dossies/sbrt-dossie41>>, Acessado em: 24 Junior 2011.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJGHÖLM, I. Osmotic dehydration of apples – effects of agitation and raw material characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 191-209, 1998.

MELO, A.S. *et al.*, Rendimento, qualidade da fruta e lucratividade do abacaxizeiro cv. *Pérola* em diferentes espaçamentos. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.41, p. 9-222, 2004.

MELO, B. *et al.*, **Processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/pminimo.htm>>. Acesso em: 24 de nov. 2011.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P. **Papaína. Uma opção para o produtor de mamão**. Jaboticabal: FUNEP, 76p. 1997.

MERCALI, G. D. **Estudo da transferência de massa na desidratação osmótica de banana (*Musa sapientum*, shum.)**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Dissertação, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

MURACHI, T. Bromelain enzymes. In: LORAND, L. *Methods in Enzymology*, v. XLV, p.475- 85, New York, Academic Press, 1976.

NELLIGAN, T. J. An introduction to ultrasonic material analysis. Waltham: **General Electric**, 2003. 3f.

NICOLETI, J. F.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. **Drying Technology**, v. 19, p. 2175-2191, 2001.

NIETO, A.; CATRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v. 50, p. 175-185, 2001.

NIJHUIS, H. H.; TORRINGA, E.; LUYTEN, H.; RENÉ, F.; JONES, P.; FUNEBO, T.; OHLSSON, T. Research needs and opportunities in the dry conservation of fruits and vegetables. **Drying Technology**, v. 14, n. 6, p. 1429-1457, 1996.

O'DONNELL, C. P.; TIWARI, B. K.; BOURKE, P.; CULLEN, P. J. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 358-367, 2010.

OLIVEIRA, A. P. V. *et al.*, Medida instrumental de cor em sobremesas lácteas de chocolate: uma técnica de baixo custo e versátil utilizando câmara digital. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 191-196, 2003.

OLIVEIRA, F. I. P. **Estudo do processo de produção de jambo desidratado sob aplicação de ultra-som**. 2010. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará.

OLIVEIRA, M.; OZEN, B. F.; DOCK, L. L.; FLOROS, J. D. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. **LWT – Food Science and Technology**, v. 41, p. 2044-2050, 2008.

PARJOKO; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A.; PERERA, C. O. Osmotic dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. **LWT – Food Science and Technology**. v. 29, p. 452–459, 1996.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD; F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PAULL, R. E.; ROHRBACH, K. G. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit (*Ananas comosus*). **J.Am. Soc. Hortic. Sci.**, v. 110, p. 100-105, 1985.

PAULL, R. E.; CHEN, C. C. Postharvest physiology, handling, and storage of pineapple. In: Bartholomew, D. P.; Paull, R.; Rohrbach, K.G. (Eds.), *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. **CABI Publishing**, Wallingford, pp. 253–279, 2003.

PERRY, R.H.; GREEN, D.W., **Chemical Engineers Handbook**. McGraw-Hill, New York 1999.

PHOTON, F. *et al.*, Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. **Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie**, v. 34, p. 95-101, 2001.

PINHEIRO, A. C. M.; VILAS BOAS, E. V. B. Influência do CaCl<sub>2</sub> sobre a qualidade pós-colheita do abacaxi cv. Perola. **Ciência de Alimentos**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 32-36, 2005.

PONCIANO, N.J. *et al.*, Avaliação econômica da produção de abacaxi (*Ananas comosus* L.) cultivar *Pérola* na região Norte Fluminense. **Revista Caatinga**, Mossoró-PB, v.19, n.1, p. 82-91, jan-março/2006.

RANIERI, A.; CASTAGNA, A.; BALDAN, A.; SOLDATINI, G. F. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 354, p. 25-35, 2001.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie**. v. 37, p. 43-47, 2004.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 34, p. 429-440, 1997.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 48-59, 2002.

RASTOGI, N. K.; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials. **Journal of Food Science**, v. 65, p. 1016-1021, 2000.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration.. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 423-432, 1997.

RASTOGI, N. K.; NIRANJAN, K. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. **Journal of Food Science**. V. 63, p. 508–511. 1998.

RHOTAN, C.; NICHOLAS, J. Changes in acidic and basic peroxidase activities during tomato fruit ripening. **Hort. Sci.**, v. 24, p.3 40-342, 1989.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo, Edgard Blucher: Instituto Mauá de Tecnologia, 184 p. 2004.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. **Engineering Properties of Foods**, 2nd ed. (M. A. Rao e S. S. H. Rizvi, eds.) p. 223-310, Academic Press: New York, 1995.

ROBARDS, K.; PRENZLER, P. D.; TUCKER, G.; SWATSITANG, P.; GLOVER, W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, London, v. 66, p. 401–436, 1999.

ROBINSON, D.S. Peroxidases and their significance in fruits and vegetables. In: FOX, P. F. (Ed), **Food Enzymology**. London and New York: Editora, p. 399- 426, 1991.

RODRIGUES, E. **Secagem de abacaxi em secador de leito fixo**. 2006.125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 678-687, 2007a.

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F.A.N. Ultrasound in fruit processing. In: Urwaye, A.P. (Ed.), **New Food Engineering Research Trends**. Nova Science Publishers. Hauppauge, USA, pp. 103–135. 2007b.

RICHARDSON, T., HYSLOP, D.B. Enzymes. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**, 2 ed. ,New York: Marcel Dekker, Inc. p. 451-452. 1985.

ROWAN, A .D.; BUTTLE, D.J.; BARRET, A .J. The cysteine proteinases of the pineapple plant. *Biochemical Journal*, v.266, n.3, p.869-75, 1990.

SAKAKIBARA, M.; WANG, D.; TAKAHASHI, R., TAKAHASHI, K.; MORI, S. Influence of ultrasound irradiation on hydrolysis of sucrose catalyzed by invertase. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 18, p. 444-448, 1996.

SALA, F. J.; BURGOS, J.; CONDÓN, S.; LOPEZ, P.; RASO, J. Effects of heat and ultrasound on microorganism and enzymes in: GOULD, G. W. (Ed.). **New methods of food preservation**. London: Blackie Academic e Professional,. cap.9, p. 177-204, 1995

SANTOS, I. P. **Parâmetros de qualidade na produção de abacaxi desidratado**. Unimontes: Janaúba – Minas Gerais, 2011. Dissertação, Universidade Estadual de Montes Claros, 2011.

SANTOS, S.A. **Efeito do tempo na composição físico-química. Química e na atividade da bromelina do caule do abacaxizeiro *Ananás comosus* (L.) merr. CV. Pérola armazenado em condições com e sem refrigeração**. Lavras: ESAL, 47p. (Dissertação de mestrado em Ciência dos Alimentos).1995.

SAPUTRA, D. Osmotic dehydration of pineapple. *Drying Technology*, v. 19, n. 2, p. 415, 2001.

SARANTÓPOULOS CIGL. 1999. Embalagens para vegetais minimamente processados fresh-cut. In: SEMINÁRIO SOBRE HORTALIÇAS MINIMAMENTE PROCESSADAS. Palestra... Piracicaba: ESALQ USP. 6p.

SCHIFFMAN, S. S.; BOOTH, B. G.; CARR, B. T.; LOSEE, M. L.; SATTELY-MILLER, E. A. A.; GRAHAM, B. G. Investigation of synergism: in binary mixtures of sweeteners. *Brain Res. Bull.*, Orlando, v. 38, n. 2, p. 105-120, 1995.

SCHWARTZBERG, H. G.; CHAO, R. Y. Solute diffusivities in leaching processes. *Food Technology*, v. 36, p. 73-86, 1982.

SEAGRI, 2004 – Secretaria da Agricultura e Pecuária do Ceará. **Projeto frutas do Ceará – Fruticultura no Ceará**. Governo do Estado do Ceará, Ceará, Brasil. Disponível em: <[www.seagri.ce.gov.br/siga/fruticultura\\_no\\_ceara.pdf](http://www.seagri.ce.gov.br/siga/fruticultura_no_ceara.pdf)>. Acesso em: 15 de jun. de 2010.

SERENO, A. M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple single and combined aqueous solution of sugar and salts. *Journal of Food Engineering*, v. 47, p. 43-49, 2001.

SILVA, F. D.; MATA, M. E. C.; DUARTE, M. E. M.; SOUZA, J. A.; SILVA, Y. C. Desidratação osmótica de banana da terra (*Musa sapientum*): aplicação de modelos matemáticos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Especial, n. 1, p. 69-76, 2003.

SINGH, B.; KUMAR, A. K. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 471-480, 2007.

SMITH, P. G. **Introduction to food process engineering**. Nova York: Kluwer Academic, 2003.

SMITH, L. G. Cause and development of blackheart in pineapples. **Tropical Agriculture**. v. 60, n. 1, p. 31-35, 1983.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 323-331, 2010.

SOUZA, J. S.; MEDEIROS, M. F. D.; MAGALHÃES, M. M. A.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N., Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering** v. 83, p. 501–509. 2007.

SOUZA, P. H. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. M.; FIQUEIREDO, R. W.; NASSU, R. T.; SOUZA, N. M. A. Influencia da concentração e da proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. V. 23, p. 126-130, 2003.

STÉVIAFARMA INDUSTRIAL S/A. **Adoçantes naturais da stévia**. Disponível em: <<http://www.stevita.com.br/stevia.php>>. Acessado em: 25 de Nov. de 2011.

SUSLICK, K. S. The chemical effects of ultra-sound. **Scientific American**, v. 2, p. 80-86, 1989.

SUSLICK, K. S. **Ultrasounds: Its chemical physical and biological effects**. New York: VHC Publishers. 1988.

SUTAR, P. P.; GUPTA, D. k. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 90-97, 2007.

TAIWO, K. A.; ESHTIAGHI, M. N.; ADE-OMOWAYE, B. I. O.; KNORR, D. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 38 p. 693–707. 2003.

TARLETON, E. S. **O papel das técnicas de campo assistida na separação sólido / líquido**. Filtração Separação, v. 3, p. 246-253. 1992.

TARLETON; WAKEMAN, E. S. O processo de separação ultrassonicamente assistida. In: Povey & Mason (eds), **ultra-sonografias em Processamento de Alimentos**, pp 193-218. Blackie Glasgow Acadêmico e Profissional, Reino Unido. 1998.

TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 253-259, 2004



THÉ, P. M. P. **Efeitos da associação de tratamento hidrotérmico, cloreto de cálcio e atmosfera modificada sobre o escurecimento interno e qualidade do abacaxi cv. *Smooth cayenne***. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

THÉ, P. M. P.; CARVALHO, V. D.; ABREU, C. M.; NUNES, R. P.; PINTO, N. A. V. Modificações na atividade enzimática em abacaxi „Smooth Cayenne” em função da temperatura de armazenamento e do estágio de maturação. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 364-370, 2001.

TIJSKENS, L. M. M.; RODIS, P. S.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; WALDRON, K. W.; INGHAM, L.; PROXENIA, N.; VAN DIJK, C. Activity of peroxydase during blanching of peaches, carrots and potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 34, p. 355-370, 1997.

TOUPIN, C. J.; LE MAGUER, M. Osmotically-induced mass transfer in plant storage tissues: a mathematical model. Part II. **Journal of Food Engineering**. v. 10, n.1, p. 97-121, 1989.

TSUNEYUKI, O.; NAKAMURA, S. Digestion, absorption, fermentation, and metabolism of functional sugar substitutes and their available energy. **Pure Apple Chemistry London**, v. 74, n. 7, p. 1253-1261, 2002.

TUNICK, M. H. RHEOLOGY of dairy foods that gel, stretch, and fracture. **Journal Dairy Science, Champaign**, v. 83, n. 8, p. 1892-1989, 2000.

ULLOA, J. A.; GUATEMALA, G. M.; ARRIOLA, E.; ESCALONA, H. B.; DÍAZ, L. Estimation of the diffusivities of sodium chloride, potassium sorbate and sodium bisulphite in mango slices processed by hurdle technology. **Journal of Food Engineering**. v. 91, p. 211-216, 2009.

UNIQUE GROUP. Disponível em:< <http://www.unique.ind.br/desruptor.html>>. Acessado em: 15 de set. 2011.

VALDERAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade da peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 321-325, 2001.

VALOIS, A. C. C.; ZAPATA CASTELLÓN, C.; APAZA CAMA, V. A. Desarrollo agroindustrial de la Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni en los Yungas de La Paz: síntesis del informe técnico. Montevideo: FIDA MERCOSUR, 128 p. 2002.

VÁMOS-VIGYÁZÓ, L. Polyphenoloxidase and peroxidase in fruits and vegetable. **CRC Criticals Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v.15, p. 49- 127. 1981.

VARZAKAS, T. H.; LEACH, G. C.; ISRAILIDES, C. J.; ARAPOGLOU, D. Theoretical and experimental approaches towards the determination of solute effective diffusivities in foods. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 37, p. 29-41, 2005.

VERCET, A.; LOPEZ, P.; BURGOS, J. Inactivation of heat-resistant pectinmethylesterase from orange by manothermosonication. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 47, p. 432-437, 1999.

VERCET, A.; ORIA, R.; MARQUINA, P.; CRELIER, S.; LOPEZ-BUESA, P. Rheological properties of yoghurt made with Milk submitted to manothermosonication. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 21, p. 6165-6171, 2002.

WELLS, A. G. The use of intense sweeteners in soft drinks. In: GREMBY, T. H. *Progress in sweeteners*. New York: **Elsevier Applied Science**, p. 121-42. 1989.

WHITAKER, J. R. Polyphenoloxidase. In: FENNEMA, O.R. (Ed.) **Principles of enzymology for the Food Science**. New York: Marcel Dekker Inc, P.543-556, 1994.

WILEY, R. C. **Frutas y hortalizas minimamente procesadas y refrigeradas**. Zaragoza: Acribia, 362 p. 1997.

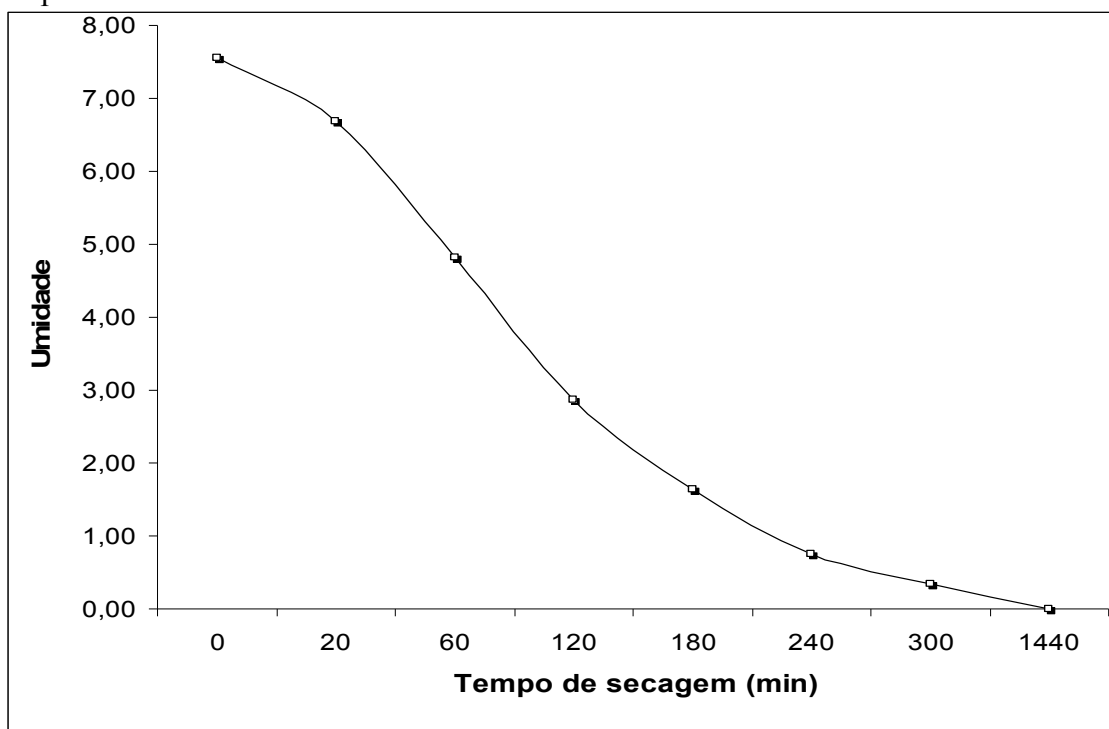
WU, J; LIN, L. Elicitor-like effects of low-energy ultrasound on plant (Panax ginseng) cell: induction of plant defense responses and secondary metabolite production. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 59 n. 1, p. 51-57, 2002.

ZHANG, S.Q.; KUMAR, A.; KUTOWY, O. Membrane-based separation scheme for processing sweeteners from stevia leaves. **Food Research International**, v. 33, p. 617-620, 2000.

ZHENG L E SUN DW Aplicações inovadoras de ultra-som de energia durante os processos de congelamento de alimentos - uma revisão. **Food Science and Technology**, v. 17, p. 16-23. 2006.

## APÊNDICES

Apêndice 1 – Representação gráfica do período de queda da taxa de secagem, observado no presente estudo.



Apêndice 2 – Análise estatística do modelo de perda de sólidos durante a secagem de abacaxi pérola sonificado em diferentes proporções água:fruta

<i>Perda de Sólidos (SG)</i>		
Fator	Efeito	S.E.
Média	9,74	6,91
Proporção (L)	0,85	7,65
Proporção (Q)	1,40	14,43
Tempo (L)	5,01	7,37
Tempo (Q)	-22,81*	12,30*
Proporção X Tempo	7,37	9,27

\*significativo em um intervalo de confiança de 90%.

Apêndice 3 – Difusividade da água do abacaxi processado em diferentes proporções ( $m^2/min$ ).

<i>Condição operacional (P/P)</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>Difusividade (<math>m^2/min</math>)</i>
Sem pré-tratamento em ultrassom	---	$1,29 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1	10	$1,058 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1	20	$1,49 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1	30	$7,75 \times 10^{-8}$
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1	10	$9,51 \times 10^{-8}$
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1	20	$1,41 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1	30	$1,19 \times 10^{-7}$

Tratamento em ultrassom na proporção 6:1	10	$1,17 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1	20	$1,12 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1	30	$1,29 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1	10	$9,71 \times 10^{-8}$
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1	20	$1,19 \times 10^{-7}$
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1	30	$1,06 \times 10^{-7}$

Apêndice 4 – Tempo necessário para remover 90% do teor de água inicial do Abacaxi.

<i>Condição operacional (P/P)</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>Tempo necessário para remover 90% da água inicial (min)</i>
Sem pré-tratamento em ultrassom	---	724,10
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1	10	880,50
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1	20	668,30
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1	30	1211,79
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1	10	989,10
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1	20	698,90
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1	30	787,60
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1	10	808,10
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1	20	835,90
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1	30	748,30
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1	10	962,80
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1	20	788,50
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1	30	883,80

Apêndice 5 – Perda de água (WL) e sólidos (SL) em abacaxi submetido ao ultrassom de ponteira.

<i>Condição operacional (W)</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>WL (%)</i>	<i>SL (%)</i>
Potência Ultrassônica 100	5	$5,66 \pm 0,1$	$7,87 \pm 0,8$
Potência Ultrassônica 100	10	$7,24 \pm 1,6$	$8,63 \pm 0,2$
Potência Ultrassônica 100	15	$8,28 \pm 1,2$	$15,90 \pm 0,9$
Potência Ultrassônica 200	5	$7,98 \pm 1,2$	$5,73 \pm 1,8$
Potência Ultrassônica 200	10	$9,01 \pm 2,2$	$17,96 \pm 0,6$
Potência Ultrassônica 200	15	$15,34 \pm 3,3$	$28,97 \pm 2,7$
Potência Ultrassônica 300	5	$6,76 \pm 0,1$	$15,64 \pm 0,4$
Potência Ultrassônica 300	10	$10,81 \pm 0,2$	$17,14 \pm 0,8$
Potência Ultrassônica 300	15	$18,22 \pm 0,7$	$31,79 \pm 1,1$
Potência Ultrassônica 400	5	$5,79 \pm 1,9$	$9,94 \pm 1,2$
Potência Ultrassônica 400	10	$5,69 \pm 1,6$	$26,13 \pm 1,2$
Potência Ultrassônica 400	15	$8,55 \pm 0,5$	$17,63 \pm 0,2$
Potência Ultrassônica 500	5	$9,44 \pm 1,2$	$8,72 \pm 2,0$
Potência Ultrassônica 500	10	$5,35 \pm 0,2$	$19,37 \pm 0,5$
Potência Ultrassônica 500	15	$10,56 \pm 1,1$	$23,87 \pm 1,0$

Apêndice 6 - Análise estatística do modelo de perda de sólidos durante a secagem de abacaxi pérola sonificado em ultrassom de ponteira.

<i>Perda de Sólidos (SG)</i>		
Fator	Efeito	S.E.
Média	25,24*	2,89*
Potência (L)	2,25	1,94
Potência (Q)	-4,37*	1,64*
Tempo (L)	9,95*	3,37*
Tempo (Q)	-7,68	5,83
Potência X Tempo	-0,22	2,38

\*significativo em um intervalo de confiança de 95%.

Apêndice 7 – Difusividade da água do abacaxi processado no ultrassom de ponteira.

<i>Condição operacional (W)</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>Difusividade (m<sup>2</sup>/min)</i>
Sem pré-tratamento em ultrassom	---	1,55 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 100	5	1,63 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 100	10	2,10 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 100	15	3,42 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 200	5	4,37 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 200	10	2,66 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 200	15	1,96 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 300	5	3,86 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 300	10	2,71 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 300	15	1,82 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 400	5	2,49 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 400	10	2,06 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 400	15	1,92 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 500	5	2,99 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 500	10	1,96 x 10 <sup>-7</sup>
Potência Ultrassônica 500	15	2,49 x 10 <sup>-7</sup>

Apêndice 8 - Tempo em minutos, necessário para remover 90% do teor de água inicial do Abacaxi.

<i>Condição operacional (W)</i>	<i>Tempo (min.)</i>	<i>Tempo necessário para remover 90% da água inicial (min)</i>
Sem pré-tratamento em ultrassom	---	634,50
Potência Ultrassônica 100	5	580,70
Potência Ultrassônica 100	10	498,20
Potência Ultrassônica 100	15	353,80
Potência Ultrassônica 200	5	315,10
Potência Ultrassônica 200	10	430,80
Potência Ultrassônica 200	15	548,40
Potência Ultrassônica 300	5	315,70
Potência Ultrassônica 300	10	423,30
Potência Ultrassônica 300	15	580,40
Potência Ultrassônica 400	5	438,70
Potência Ultrassônica 400	10	455,40
Potência Ultrassônica 400	15	604,40

Potência Ultrassônica 500	5	450,70
Potência Ultrassônica 500	10	519,40
Potência Ultrassônica 500	15	446,80

Apêndice 9 - Efeito da sonificação sobre a cor do abacaxi pérola, durante a secagem convectiva.

<i>Condição operacional (p/p)</i>	<i>Ttempo (min)</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>ΔE</i>	<i>ΔC</i>
Sem pré-tratamento em ultrassom (MS)	0	62,80	-2,41	22,03		
	20					
	60	60,49	-2,26	20,33	2,86	1,70
	120	61,26	-2,38	21,64	1,59	0,39
	180	58,50	-1,83	20,51	4,59	1,62
	240	64,11	-2,54	26,43	4,60	4,41
	300	62,30	-1,28	24,83	3,06	3,02
	1440	40,32	7,30	10,66	26,99	14,95
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1 por 10 min	0	62,32	-2,04	22,39	0,00	
	20	59,57	-1,79	19,95	3,69	2,46
	60	58,82	-1,35	19,41	4,64	3,06
	120	61,15	-1,61	23,52	1,68	1,21
	180	58,34	-1,49	21,39	4,14	1,15
	240	60,68	-1,80	23,43	1,95	1,07
	300	58,72	-1,40	23,23	3,75	1,05
	1440	33,47	5,65	7,99	33,14	16,33
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1 por 20 min	0	61,31	-2,55	20,88	0,00	
	20	63,43	-2,11	22,79	2,89	1,97
	60	58,72	-1,07	19,83	3,16	1,81
	120	64,16	-2,06	24,52	4,65	3,67
	180	60,53	-2,17	23,57	2,83	2,72
	240	59,36	-2,02	21,83	2,23	1,09
	300	55,84	-1,44	22,54	5,82	2,00
	1440	34,26	6,27	8,98	30,84	14,81
Tratamento em ultrassom na proporção 3:1 por 30 min	0	61,08	-2,43	20,94	0,00	
	20	62,70	-2,19	21,99	1,94	1,08
	60	58,23	-1,34	20,10	3,16	1,37
	120	58,80	-1,45	22,65	3,02	1,98
	180	57,18	-1,79	26,30	6,66	5,40
	240	64,65	-1,50	22,10	3,87	1,49
	300	58,78	-1,54	23,38	3,47	2,60
	1440	37,23	6,75	10,09	27,76	14,21
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1 por 10 min	0	66,19	-2,16	22,92	0,00	
	20	64,99	-1,80	23,15	1,28	0,42
	60	64,74	-1,74	23,19	1,53	0,50
	120	65,47	-1,89	24,36	1,62	1,46
	180	65,86	-2,37	26,05	3,15	3,13
	240	64,65	-1,79	26,30	3,73	3,40
	300	58,54	-0,76	24,05	7,86	1,80
	1440	38,49	6,83	10,30	31,74	15,50
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1 por 20 min	0	62,00	-2,44	21,73	0,00	
	20	61,76	-2,54	22,36	0,68	0,64
	60	61,12	-2,48	21,55	0,90	0,19
	120	61,17	-2,14	22,12	0,96	0,48
	180	62,72	-2,39	22,99	1,45	1,26
	240	62,24	-2,55	22,34	0,67	0,62
	300	62,49	-2,02	24,41	2,76	2,71

	1440	37,00	7,46	10,65	29,08	14,86
Tratamento em ultrassom na proporção 4:1 por 30 min	0	62,31	-1,96	21,39	0,00	
	20	62,93	-2,16	22,04	0,93	0,69
	60	60,62	-2,37	21,87	1,80	0,63
	120	61,74	-1,86	23,23	1,93	1,85
	180	61,18	-2,18	22,69	1,74	1,32
	240	61,06	-1,74	23,98	2,88	2,60
	300	57,94	-1,25	21,62	4,43	0,74
	1440	37,10	6,51	10,46	28,75	13,82
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1 por 10 min	0	65,52	-0,74	22,55	0,00	
	20	63,40	-1,94	23,25	2,54	1,39
	60	62,26	-1,65	20,76	3,83	2,01
	120	61,68	-1,79	23,56	4,11	1,45
	180	59,14	-1,52	22,83	6,44	0,83
	240	61,99	-1,39	24,79	4,23	2,33
	300	57,21	-0,88	23,28	8,35	0,74
	1440	40,11	6,69	11,71	28,61	13,14
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1 por 20 min	0	62,79	-2,16	21,95	0,00	
	20	60,02	-1,93	20,79	3,02	1,18
	60	61,42	-2,05	21,01	1,67	0,95
	120	59,67	-1,96	19,97	3,70	1,98
	180	60,58	-1,81	21,64	2,26	0,47
	240	60,75	-1,85	21,59	2,10	0,47
	300	59,59	-1,60	21,66	3,27	0,63
	1440	39,51	8,67	14,33	26,79	13,24
Tratamento em ultrassom na proporção 6:1 por 30 min	0	62,24	-2,18	21,20	0,00	
	20	65,15	-2,75	23,29	3,63	2,17
	60	61,60	-2,42	22,58	1,54	1,41
	120	61,92	-2,44	23,27	2,11	2,09
	180	63,40	-2,22	23,13	2,26	1,94
	240	66,15	-2,19	26,12	6,29	4,93
	300	58,78	-1,61	21,98	3,59	0,97
	1440	37,97	5,99	11,38	27,42	12,78
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1 por 10 min	0	62,62	-2,21	22,15	0,00	
	20	66,91	-2,26	24,12	4,72	1,97
	60	62,84	-2,08	22,89	0,79	0,76
	120	64,84	-2,15	23,49	2,60	1,35
	180	62,11	-2,27	21,99	0,54	0,17
	240	60,20	-1,91	21,44	2,54	0,77
	300	59,92	-1,78	21,56	2,79	0,72
	1440	36,40	8,15	12,43	29,82	14,21
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1 por 20 min	0	65,44	-2,36	21,53	0,00	
	20	62,45	-2,57	22,63	3,19	1,13
	60	58,54	-2,26	20,71	6,95	0,82
	120	56,78	-2,17	19,92	8,81	1,62
	180	57,82	-2,15	21,11	7,63	0,46
	240	57,12	-1,40	20,82	8,41	1,19
	300	53,52	-0,75	18,82	12,33	3,15
	1440	36,15	7,62	11,02	32,68	14,49
Tratamento em ultrassom na proporção 10:1 por 30 min	0	20,61	-2,45	61,80	0,00	
	20	22,84	-2,81	63,68	2,94	1,91
	60	20,86	-2,21	59,65	2,17	2,16
	120	21,74	-2,42	59,48	2,58	2,32
	180	21,63	-1,84	57,87	4,11	3,98
	240	21,57	-1,34	57,42	4,62	4,52
	300	21,93	-1,81	57,23	4,80	4,62
	1440	12,69	8,39	39,14	26,34	25,12

Apêndice 10 - Efeito da imersão, com e sem sonificação, em solução de estêvia a 10 e 25% de concentração, sobre a cor do abacaxi pérola.

<i>Condição operacional (p/p)</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>L</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>ΔE</i>	<i>ΔC</i>
Sem pré-tratamento em ultrassom (MS)	0	77,25	-1,74	18,01	0,00	6,53
	0	-	-	-	-	-
	0	-	-	-	-	-
	1440	60,72	4,65	18,60	17,96	-
Sem imersão em estêvia (MSCS)	0	76,19	-2,08	18,71	0,00	0,00
	20	71,75	-2,12	18,70	4,46	0,38
	20	-	-	-	-	-
	1440	55,26	4,43	15,17	22,22	7,21
Imersão em Stêvia 10% - 5 min sem sonificação	0	78,36	-1,67	18,15	0,00	0,00
	20	71,48	-1,77	17,30	6,94	0,87
	25	72,40	-1,94	18,63	5,98	0,55
	1440	50,28	3,73	14,02	28,93	6,98
Imersão em Stêvia 10% - 10 min sem sonificação	0	77,54	-2,38	20,32	0,00	0,00
	20	72,28	-2,09	17,84	5,82	2,50
	30	66,35	-1,88	15,93	12,03	4,42
	1440	55,77	2,90	13,73	23,38	8,48
Imersão em Stêvia 10% - 15 min sem sonificação	0	81,11	-2,07	20,05	0,00	0,00
	20	75,51	-1,98	18,74	5,76	0,75
	35	76,96	-2,13	20,10	4,17	0,63
	1440	58,44	3,59	17,46	23,51	5,92
Imersão em Stêvia 10% - 20 min sem sonificação	0	82,22	-1,90	19,78	0,00	0,00
	20	72,82	-1,60	17,62	9,67	1,08
	40	80,73	-2,33	22,11	2,90	3,47
	1440	64,77	3,96	19,80	18,53	5,97
Imersão em Stêvia 25% - 5 min sem sonificação	0	76,91	-1,95	19,00	0,00	0,00
	20	72,34	-1,89	17,36	4,89	2,77
	25	75,88	-2,09	19,95	1,91	0,30
	1440	56,86	4,08	17,20	21,07	7,21
Imersão em Stêvia 25% - 10 min sem sonificação	0	79,78	-1,92	18,67	0,00	0,00
	20	73,07	-1,77	17,26	6,86	2,89
	30	71,09	-1,67	17,45	8,77	2,73
	1440	57,29	3,24	15,76	23,25	7,06
Imersão em Stêvia 25% - 15 min sem sonificação	0	77,47	-2,36	19,96	0,00	0,00
	20	70,30	-2,34	18,14	7,41	1,96
	35	66,59	-1,69	16,88	11,32	3,29
	1440	52,69	4,56	17,07	25,89	7,53
Imersão em Stêvia 25% - 20 min sem sonificação	0	81,10	-1,89	18,70	0,00	0,00
	20	69,02	-1,88	15,57	12,49	4,55
	40	72,20	-2,06	18,39	8,91	1,73
	1440	51,69	2,09	11,57	30,53	9,61
Imersão em Stêvia 10% - 5 min com sonificação	0	68,49	-2,06	18,72	0,00	0,00
	20	70,41	-1,88	18,78	2,14	1,40
	25	64,16	-1,68	17,78	4,53	2,41
	1440	52,31	3,37	13,21	17,99	8,98
	0	73,29	-2,07	18,30	0,00	0,00



Imersão em Stévia 10% - 10 min com sonificação	20	74,03	-2,16	18,90	1,11	1,21
	30	72,12	-2,19	19,22	1,70	0,89
	1440	57,99	4,69	17,92	17,01	7,77
Imersão em Stévia 10% - 15 min com sonificação	0	69,85	-1,75	18,14	0,00	0,00
	20	75,68	-2,09	19,78	9,12	1,08
	35	67,92	-1,99	18,27	3,73	1,86
Imersão em Stévia 10% - 20 min com sonificação	1440	57,57	3,79	16,76	13,68	6,98
	0	75,71	-1,77	18,51	0,00	0,00
	20	73,26	-2,01	18,37	2,48	1,77
	40	74,51	-2,14	19,49	1,76	0,64
	1440	57,44	4,29	17,79	19,33	7,10
Imersão em Stévia 25% - 5 min com sonificação	0	76,70	-1,69	18,12	0,00	0,00
	20	75,47	-1,68	18,08	1,24	2,12
	25	76,05	-1,66	19,17	1,24	1,15
	1440	51,28	3,86	15,73	26,14	7,61
	0	70,62	-2,09	19,60	0,00	0,00
	20	72,61	-2,56	21,44	2,92	1,36
Imersão em Stévia 25% - 10 min com sonificação	30	65,02	-2,25	18,44	5,74	1,67
	1440	52,82	4,58	15,35	19,53	8,51
	0	74,66	-1,72	19,93	0,00	0,00
Imersão em Stévia 25% - 15 min com sonificação	20	69,76	-1,70	17,73	5,38	2,46
	35	78,65	-2,08	22,76	4,99	2,70
	1440	55,60	4,73	17,85	20,27	7,46
Imersão em Stévia 25% - 20 min com sonificação	0	69,16	-1,85	18,69	0,00	0,00
	20	74,05	-2,64	20,94	5,45	0,90
	40	66,61	-1,78	18,69	2,59	1,51
	1440	57,23	4,37	18,23	13,47	6,96

Apêndice 11 – Condições de estudo e resultados para atividade enzimática da Protease, Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD) no abacaxi pérola com ou sem ação do ultrassom.

<i>Condição Operacional (W)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Protease (U/mL)</i>	<i>PPO (UAE/mL)</i>	<i>POD (UAE/mL)</i>
0	30	20	1,85	67,70	591,25
135	30	20	1,84	58,74	648,00
0	40	20	1,66	61,37	289,95
135	40	20	1,69	57,15	214,22
0	60	20	1,70	146,78	467,02
135	60	20	1,66	124,11	523,73
0	60	10	1,81	142,67	364,62
135	60	10	1,86	140,81	337,24
0	90	2	1,82	140,96	455,29

Apêndice 12 – Condições de estudo e resultados para atividade enzimática da Protease, Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD) no abacaxi pérola sob a forma de fruta e suco.

<i>Condição Operacional (W)</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Protease (U/mL)</i>	<i>PPO (UAE/mL)</i>	<i>POD (UAE/mL)</i>
Suco sem sonificação	0	1,95	80,51	264,80
Suco sonificado a 100	20	1,84	81,04	240,80

Suco sonificado a 200	20	1,83	80,63	239,55
Suco sonificado a 300	20	1,81	84,96	241,86
Suco sonificado a 400	20	1,69	84,03	260,27
Suco sonificado a 500	20	1,89	76,70	229,68
Fruta sem sonificação	0	2,54	97,00	302,93
Fruta sonificada a 100	20	1,74	85,07	261,86
Fruta sonificada a 200	20	1,98	122,18	182,31
Fruta sonificada a 300	20	2,27	123,55	168,62
Fruta sonificada a 400	20	2,07	119,37	227,64
Fruta sonificada a 500	20	2,18	120,05	227,64

---