

MÔNICA ELIZABETH TORRES PRADO

VIDA DE PRATELEIRA E PERDA DE VITAMINA C DURANTE O ARMAZENAMENTO DE UM ALIMENTO DE UMIDADE INTERMEDIÁRIA OBTIDO DA MISTURA SUÇO-POLPA DE MANGA (*Mangifera indica* L.) - DESENVOLVIMENTO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do Grau de "MESTRE".

Orientador:
Prof. Prabir K. Chandra



LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

1994

VIDA DE PRATELEIRA E PERDA DE VITAMINA C DURANTE
O ARMAZENAMENTO DE UM ALIMENTO DE UMIDADE
INTERMEDIÁRIA OBTIDO DA MISTURA SUÇO-POLPA DE
MANGA (*Mangifera indica* L.) - DESENVOLVIMENTO DE
MODELOS MATEMÁTICOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Lavras, como parte das exigências do
curso de Mestrado em Agricultura de Lavras.

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de
Catalogação e Classificação da Biblioteca da ESAL.

Prado, Mônica Elizabeth Torres

Vida de prateleira e perda de vitamina C durante
o armazenamento de um alimento de umidade
intermediária obtido da mistura suc-polpa de manga
(*Mangifera indica* L.) - desenvolvimento de modelos
matemáticos / Mônica Elizabeth Torres Prado.
Lavras : ESAL, 1994.

76 p. : il.

Orientador: Prabir K. Chandra.

Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de
Agricultura de Lavras.

Bibliografia.

1. Alimento de umidade intermediária - Armazena-
mento. 2. Alimento de umidade intermediária - Vida
de prateleira. 3. Alimento de umidade intermediária - Vitamina C - Perda. 4. Modelos matemáticos.
I. Escola Superior de Agricultura de Lavras.
II. Título.

CDD-664.80444

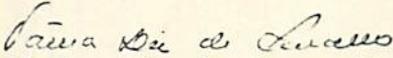
MÔNICA ELIZABETH TORRES PRADO

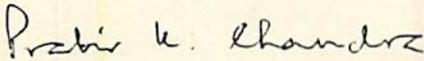
VIDA DE PRATELEIRA E PERDA DE VITAMINA C DURANTE O ARMAZENAMENTO
DE UM ALIMENTO DE UMIDADE INTERMEDIÁRIA OBTIDO DA MISTURA
SUCO-POLPA DE MANGA (*Mangifera indica* L.) -
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do Grau de "MESTRE".

APROVADA em 11 de março de 1994.


Prof. Evódio Ribeiro Vilela


Prof^a. Vânia Déa de Carvalho


Prof. Prabir K. Chandra
(ORIENTADOR)

A DEUS,

Aos meus pais

Haroldo e Zilda

por estarem sempre presentes

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Prabir K. Chandra, pela oportunidade de trabalhar sob sua orientação, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade.

A Prof^a. Dra. Vânia Déa de Carvalho e ao Prof. Dr. Luís Ronaldo de Abreu.

Ao Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita de Frutos e Hortaliças e aos Profs. Drs. Admilson Bosco Chitarra e Maria Isabel F. Chitarra por permitirem a utilização deste laboratório para realização do meu experimento.

Ao Laboratório de Sementes, pela utilização das estufas.

Ao LAFIM e ao Prof. Dr. José Cal-Vidal por permitir a utilização dos dessecadores.

Ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos pela utilização das placas de petri.

A amiga Josane pela grande ajuda nas análises químicas.

As amigas Beth, Kelly, Wanderléia, Denise, Urquisa e Sílvia, pela amizade, apoio e incentivo.

A amiga Celeste pelas oportunas sugestões.

Aos amigos Jaime, Gilmar, Marcus Vinícius, Eduardo e Jorge.

Ao Prof. e amigo Ednaldo Carvalho Guimarães, da UNICAMP, pela orientação nas análises estatísticas.

A prestimosa amiga e secretaria de pós-graduação do Departamento de Ciência dos Alimentos, Gicelda.

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, particularmente ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao CNPq e a FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores, colegas e funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos e a todos que, de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xiii
SUMMARY	xv
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivos	03
2 REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 A manga	04
2.2 O processo de desidratação	05
2.3 Alimentos de umidade intermediária (AUI)	08
2.4 Perda de vitamina C	10
2.5 Vida de prateleira	12
2.6 Modelo matemático	13
2.6.1 Perda de vitamina C	13
2.6.2 Vida de prateleira	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Matéria-prima	17
3.2 Métodos	17
3.2.1 Preparação dos frutos	17
3.2.2 Adição de ácido ascórbico	17
3.2.3 Condições de desidratação	18
3.2.4 Embalagem	18
3.2.5 Análises químicas	19
3.2.5.1 Ácido ascórbico	19
3.2.5.2 Teor de umidade	19
3.2.6 Avaliações de estabilidade	19
3.2.6.1 Condicionamento ambiental	19
3.2.6.2 Teor de umidade e perda de vitamina C	20
3.2.7 Delineamento experimental	20
3.2.8 Desenvolvimento de modelagem matemática	21
3.2.8.1 Perda de vitamina C	21
3.2.8.2 Cálculo do teor de vitamina C total	23
3.2.8.3 Vida de prateleira	23
3.2.8.4 Determinação do tempo total de armazenamento ou vida de prateleira	26

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Conteúdo de Umidade e Vitamina C total do fruto "in natura"	27
4.2	Perda de Vitamina C durante o processo de desidratação	27
4.3	Perda de Vitamina C durante o armazenamento	28
4.4	Absorção e Dessorção d'água	31
4.5	Modelo Matemático	34
4.5.1	Perda de Vitamina C	34
4.5.2	Valores estimados pelo modelo matemático da perda de vitamina C, utilizando condições diversas	39
4.5.3	Vida de prateleira	42
4.5.4	Valores estimados pelo modelo matemático da vida de prateleira	43
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curva de velocidade de secagem indicando os períodos principais de secagem segundo HOLDSWORTH (1971).....	07
2	Vitamina C total durante o armazenamento de AUI de manga nas temperaturas de 10, 27, 42±1°C e UR de 32, 43, 75±3%; embaladas em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26,79% b.s.	30
3	Cinéticas de absorção e dessorção d'água dos AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% b.s., condicionados a temperaturas de 10, 27, 42±1°C e Umidades Relativas de 32, 43, 75±3%	32

Figura

Página

- 4 Comparação entre os resultados experimentais (\square) e os estimados por modelo matemático (—) do conteúdo de vitamina C total de AUI de manga armazenados na temperatura de $10 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR de 32, 43 e $75 \pm 3\%$; embalados em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26,79% b.s. 35
- 5 Comparação entre os resultados experimentais (\square) e estimados por modelo matemático (—) do conteúdo de vitamina C total de AUI de manga armazenados na temperatura de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR de 32, 43 e $75 \pm 3\%$; embalados em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26,79% b.s. 36
- 6 Comparação entre os resultados experimentais (\square) e estimados por modelo matemático (—) do conteúdo de vitamina C total de AUI de manga armazenados na temperatura de $42 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR de 32, 43 e $75 \pm 3\%$; embalados em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26,79% b.s. 37

Figura

Página

7	Fluxograma do programa desenvolvido em linguagem FORTRAN para estimar o conteúdo de vitamina C total durante o armazenamento de alimentos de umidade intermediária	46
8	Fluxograma do programa desenvolvido em linguagem FORTRAN para estimar a vida de prateleira de alimentos de umidade intermediária	48

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características das soluções saturadas e suas umidades relativas em diferentes temperaturas	20
2	Valores do conteúdo de umidade e vitamina C total da polpa da manga madura, variedade Haden	27
3	Valores médios do conteúdo de vitamina C total, de AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% (b.s.), embalados em filme de PVC e armazenados nas temperaturas de 10,27 e 42±1°C e UR de 32, 43, 75 ± 3%, num período de 30 dias	29
4	Valores de umidade de equilíbrio (U_e) obtidos experimentalmente	33

Tabela

Página

- 5 Valores do conteúdo de vitamina C total (mg/100g) obtidos por método computacional (APÊNDICE A1) de AUI de manga com três concentrações iniciais de vitamina C diferentes (80, 130,6 e 180,0) e teor de umidade inicial de 26,79% b.s., armazenados a 10°C e 32% de UR..... 40
- 6 Valores do conteúdo de vitamina C total (mg/100g) obtidos por método computacional (APÊNDICE A1) de AUI de manga com a mesma concentração inicial de vitamina C (130,6 mg/100g) e teor de umidade inicial de 26,79% b.s., armazenados a 75% de UR. 41
- 7 Valores do conteúdo de vitamina C total (mg/100g), obtidos por método computacional (APÊNDICE A1), de AUI de manga com a mesma concentração inicial de vitamina C (130,6 mg/100 g) e teor de umidade inicial de 26,79% b.s., armazenados a 27°C. 41

Tabela

Página

- 8 Valores de vida de prateleira (dias) obtidos por método computacional (Apêndice A2), de AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% b.s., embalados em filme de PVC flexível de 12 micras de espessura numa área total de 244,94 cm² e armazenados em 3 temperaturas e 3 umidades relativas diferentes (UC = 0,5) 44
- 9 Valores de vida de prateleira (dias) obtidos por método computacional (Apêndice A2), de AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% b.s., embalados em filme de PVC flexível de 12 micras de espessura numa área total de 244,94 cm² e armazenados em 3 temperaturas e 3 umidades relativas diferentes (UC = 0,1) 45

RESUMO

PRADO, Mônica Elizabeth Torres. Vida de prateleira e perda de vitamina c durante o armazenamento de um alimento de umidade intermediária obtido da mistura suco-polpa de manga (*Mangifera indica* L.) - desenvolvimento de modelos matemáticos desenvolvimento de modelos matemáticos. Lavras, ESAL, 1984. 90 p. (Dissertação-Mestrado em Ciências dos Alimentos)*

As perdas de vitamina C e a vida de prateleira de alimentos de umidade intermediária (AUI) feitos a partir da mistura suco-polpa de manga e fortificados com ácido ascórbico foram estudados, a partir de dados experimentais do conteúdo de vitamina C total e da cinética de absorção e dessorção d'água. Estes foram medidos em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. Três níveis de temperatura (10,27 e 42°C) em combinações com três níveis de umidade relativa (32, 43 e 75%), produziram 9 combinações e estes dados experimentais foram utilizados para desenvolver dois modelos matemáticos: um para degradação de vitamina C e outro para a vida de prateleira do AUI.

Foi observado através dos dados experimentais que as maiores perdas de vitamina C ocorreram nos alimentos armazenados em temperaturas e umidade relativas altas, como por exemplo, 42°C

* Orientador: Prabir K. Chandra, Membros da Banca: Evódio Ribeiro Vilela e Vânia Déa de Carvalho.

e 75%. A vida de prateleira do AUI é diretamente proporcional aos valores de umidade relativa de equilíbrio do ambiente de armazenamento a qual também é função da temperatura. Para umidades relativas de equilíbrio mais baixas, as amostras observadas perderam peso.

O modelo matemático desenvolvido para estimar as perdas de vitamina C, foi aceitável dentro do nível de 95% de confiança. O modelo utilizou o conteúdo de vitamina C inicial, a temperatura e a umidade relativa de armazenamento para predizer a perda de vitamina C com respeito ao tempo de armazenamento.

Para estimar a vida de prateleira dos AUI, o modelo utilizou a umidade inicial do produto, a temperatura e a umidade relativa do ambiente de armazenamento e as características do material utilizado na embalagem, tais como, espessura, permeabilidade e área da superfície embalada.

Os modelos propostos foram utilizados para analisar os efeitos das variáveis independentes consideradas sobre as variáveis dependentes, bem como suas relações para valores fora dos limites experimentais. Esta é a vantagem de um modelo validado pelos dados experimentais o qual permite investigar estes efeitos sem a necessidade de experimentos dispendiosos que consomem tempo.

SUMMARY

SHELF-LIFE AND VITAMINA C LOSS DURING STORAGE OF A INTERMEDIATE MOISTURE FOOD OBTAINED FROM THE JUICE-PULP MIXTURE OF MANGO - DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS

Vitamin C losses and shelf life of intermediate moisture foods (IMF) manufactured from the mango juice-pulp mixture and fortified with ascorbic acid were studied, utilizing experimental data on both the total vitamin C content and moisture absorption and desorption kinetics. These were measured at different conditions of temperature and relative humidity. Three levels of temperature (10, 27 and 42°C) in combination with three levels of relative humidity (32, 43 and 75%), yielded in 9 combinations and these experimental data were utilized to develop two mathematical models: one for vitamin C degradation and the other for shelf life of the IMF.

It was observed from experimental data that higher level of vitamin C losses occurred in the food stored at high temperature and relative humidity, e.g. 42°C and 75%. The shelf life of the IMF is seen to be directly proportional to the equilibrium relative humidity values of the storage atmosphere which again is a function of temperature. At lower equilibrium relative humidity, the samples were observed to lose weight.

The mathematical model to estimate the vitamin C losses was found to be acceptable within 95% confidence level. The model uses the initial vitamin content, storage temperature and relative humidity to predict vitamin C loss with respect to storage time.

To estimate the shelf life of the IMF, the model uses the initial product moisture, temperature and relative humidity of the storage atmosphere, and the characteristics of the packaging material such as thickness, permeability and surface area.

The proposed models were used to analyze the effects of independent variables considered in the models on the dependent variables and also on each other at their values outside the experimental limits. This is the advantage of a validated model which allows to investigate these effects without necessitating expensive and time-consuming experimentation.

1 INTRODUÇÃO

A manga é um fruto de grande demanda em todo o mundo, pelos seus atributos de qualidade, sabor e aroma. Devido a problemas de transporte e manuseio, grande parte deste fruto é rejeitada para exportação e uma quantidade considerável é desperdiçada. Uma saída para isso seria a desidratação destes frutos.

A desidratação de frutos até baixos níveis de umidade constitui um dos vários métodos empregados para prolongamento de sua vida útil. Existem vários processos que provocam a secagem, seja com ar desumidificado (Sinnamon et al., 1968), baixas temperaturas (Kubota, 1985) ou fazendo uso de ar a temperatura ambiente com circulação forçada (Madarro et al., 1981). Estes processos levam à obtenção de Alimentos de Umidade Intermediária (AUI), cujos teores de água estão entre 10 e 40% e atividade de água entre 0,65 e 0,90 (Erickson, 1982). Os AUI possuem uma estabilidade assegurada, podendo suportar alguns meses de armazenamento sem necessidade de esterilização térmica, refrigeração ou congelamento. São plásticos e facilmente mastigáveis, sem a sensação oral de secura quando consumidos. São disponíveis para consumo direto sem preparação, oferecendo conforto e economia de energia.

A perda da qualidade nutricional durante o processamento e a estocagem de alimentos tem se tornado um crescente problema. A perda de alguns nutrientes, incluindo o ácido ascórbico, pode-se tornar um fator limitante na determinação da vida-de-prateleira de alguns produtos. Existe então uma grande necessidade de métodos que possam ser usados com precisão para predizer a extensão da perda de nutrientes ocorrida em produtos específicos. Lee e Labuza (1975), mostraram que a velocidade da perda de vitamina C em um alimento de umidade intermediária é grandemente afetada pelas mudanças na atividade de água.

A cinética da degradação do ácido ascórbico para um dado alimento em associação com a história do sistema, fornece informação suficiente para se fazer predições precisas do total de degradação da vitamina C, ocorrida durante um processo não isotérmico (Laing, Schlueter e Labuza, 1978).

O estudo da estabilidade permite determinar as melhores condições de armazenamento para o produto, como também sua estabilidade em diferentes condições de armazenamento e acondicionamento.

É reconhecido que o tipo de embalagem exerce um profundo efeito sobre os índices de excelência dos produtos alimentícios, até alcançar o consumidor, Labuza et al. (1972), e por esta razão, a seleção de materiais próprios de embalagem tem se tornado um dos principais problemas da indústria de alimentos.

Durante estocagem, alimentos desidratados, podem se deteriorar devido a mecanismos oxidativos, resultando na degradação de nutrientes, mudanças no flavor e sabor dos produtos

alimentícios. A exata predição do conteúdo de vitamina em alimentos secos, durante a estocagem, é essencial para proporcionar o processo com a segurança encontrada nos rótulos. Testes de vida de prateleira para degradação de vitaminas em alimentos consomem tempo e custo. Simulações da destruição de vitaminas em alimentos desidratados, representam uma alternativa para testes de vida de prateleira. O desenvolvimento de uma simulação aceitável, requer a incorporação de dados experimentais para descrever a degradação da vitamina como uma função da atividade de água e da temperatura, junto com coeficientes de transporte de umidade e oxigênio para os materiais de embalagem do produto (Purdwaria et al., 1979).

1.1 Objetivos

- a) Obter dados cinéticos sobre a perda de vitamina C em um AUI, (obtido a partir da polpa de manga), como uma função da temperatura e da umidade relativa de armazenamento.
- b) Desenvolver um modelo matemático para descrever o efeito da temperatura e umidade relativa de armazenamento sobre a velocidade de perda da vitamina C.
- c) Desenvolver um modelo matemático capaz de predizer a vida de prateleira em função da taxa de transferência de umidade do AUI acondicionado em filme de PVC.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A manga

A manga (*Mangifera indica* L.) é um fruto de regiões tropicais e subtropicais e de grande demanda em todo o mundo, tanto para o consumo "in natura", quanto industrializada. É considerada um dos frutos de melhor qualidade, sabor e aroma. Devido à sua grande aceitação por parte dos consumidores europeus, sua cultura se disseminou por vários países e sua tecnologia de produção foi acentuadamente melhorada (Nagy & Shaw, 1980).

Segundo Vasquez-Salinas et al. (1985), a composição química da manga tem sido investigada e os dados de composição de polpa comestível são apresentados na Tabela 1. As principais vitaminas presentes neste fruto são a vitamina C, pró-vitamina A (β -caroteno) e pequenas quantidades de vitamina B. O teor de vitamina varia de cultivar para cultivar, dependendo de sua origem (Nagy e Shaw, 1980). Os frutos jovens são adstringentes, ácidos e ricos em vitamina C; os frutos maduros são doces, ricos em pró-vitamina A, moderadas em vitamina C e altamente aromáticos (Hulme, 1970).

A produção mundial de manga em 1985 foi acima de 13,6 milhões de toneladas de acordo com informações disponíveis

(Vasquez-Salinas et al., 1985). Devido aos problemas de transporte ou quando as mangas produzidas para exportação são rejeitadas por causa do tamanho, forma, manchas na casca ou outros fatores, uma quantidade considerável de frutas é desperdiçada.

Produtos de frutos tropicais com umidade intermediária tem potencial de mercado, Levi et al. (1985), e podem ser abertas novas possibilidades para uma melhor utilização desses frutos.

QUADRO 1. Composição química da manga madura variedade Haden.

Umidade (%)	83,50
Sólidos solúveis totais (°BRIX)	15,10
pH	4,90
Vitamina C (mg/100 g)	53,00
Açúcares totais (%)	14,80
Carotenóides totais (ug/100 g)	6308,00
β -caroteno (ug/100 g)	3487,00

Fonte: Vasquez-Salinas e Lakshminaroyana (1985).

2.2 O processo de desidratação

A desidratação parcial ou total visa a redução da atividade d'água de um dado alimento a qual pode ser relacionada intimamente com a sua estabilidade física, química e microbiológica. Outro objetivo óbvio da desidratação é a significativa redução em volume do produto, o que promove uma maior eficiência no transporte e armazenamento do produto alimentício (Chung e Chang, 1982).

A desidratação é a operação na qual a atividade d'água (a_w) de um alimento é diminuída por remoção da quase totalidade

da água livre presente, através de sua vaporização ou sublimação (Karel, 1975). O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto a ser desidratado, da sua constituição química e das características físicas do produto final desejado (Cunningham, 1982).

De acordo com Holdsworth (1971), a velocidade e o tempo de secagem são afetados pelas propriedades físicas do produto (tamanho e forma), a disposição do produto no equipamento de secagem (espessura da camada do produto), propriedades físicas do ambiente de secagem (temperatura, umidade e velocidade do ar), características do equipamento de secagem (mecanismo de transferência de calor), composição química e estrutura do produto. O processo de desidratação pode ser dividido em duas partes: (a) o período de velocidade constante e (b) o período de velocidade decrescente.

O período de velocidade constante está caracterizado pela evaporação, devido à migração de água desde as camadas mais profundas até a superfície (Moreira et al., 1984).

No período de velocidade decrescente como o teor de umidade é diminuído pela desidratação, a velocidade interna de movimento de umidade decresce e a velocidade de desidratação cai mais rapidamente que no período anterior. Em um determinado ponto o conteúdo de umidade do produto atinge o conteúdo de umidade de equilíbrio para determinadas condições de desidratação e a desidratação cessa (Chung e Chang, 1982).

A Figura 1 mostra uma curva típica de secagem com os dois períodos em destaque.

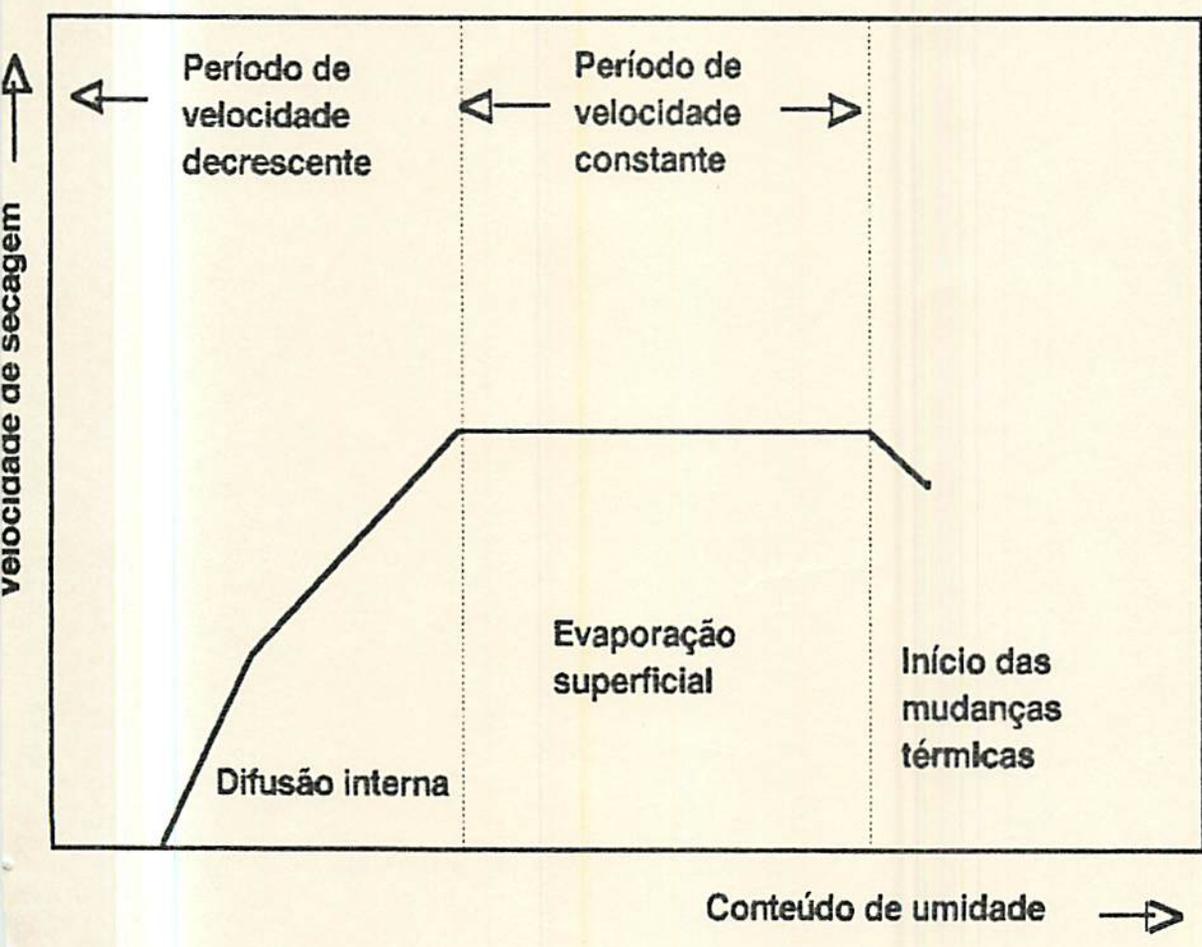


FIGURA 1. Curva de velocidade de secagem indicando os períodos principais da secagem segundo Holdsworth (1971).

A temperatura do ar, velocidade do fluxo e a umidade relativa, influenciam a velocidade de secagem, mas também afetam adversamente a qualidade do produto. Temperaturas mais altas, velocidades do ar maiores e umidades relativas menores, aceleram a velocidade de secagem (Bains, Ramaswamy e Lo, 1989).

2.3 Alimentos de umidade intermediária (AUI)

De acordo com Erickson (1982), alimentos de umidade intermediária são alimentos com teor de umidade entre alimentos desidratados, que podem ser armazenados a temperatura ambiente e alimentos úmidos os quais necessitam ser refrigerados, enlatados ou preservados por outros processos, embora possam ser armazenados em temperatura ambiente.

Tradicionalmente os alimentos de umidade intermediária tem teores de umidade entre 10 e 40% e atividade d'água variando de 0,65 a 0,90. Segundo Corry (1976) citado por Erickson (1982), a faixa de atividade d'água dos alimentos de umidade intermediária varia de autor para autor com valores de 0,70 - 0,85, Brockman (1970); 0,60 - 0,85, Plitman et al. (1973); 0,70 - 0,90, Karel (1976); e 0,60 - 0,90, Collins et al. (1972).

A atividade d'água (a_w) de um alimento não é somente função do conteúdo de água, mas também do conteúdo de substâncias as quais exercem o efeito de ligação da água na estrutura do alimento. Alimentos com o mesmo conteúdo de umidade podem, desta forma, ter diferentes atividades d'água, dependendo sobretudo do seu conteúdo de água ligando substâncias a sua estrutura, Heidelbaugh e Karel (1975).

Segundo Taoukis et al. (1988), os alimentos de umidade intermediária oferecem um grande número de vantagens sobre os alimentos secos convencionalmente ou os alimentos com alto teor de umidade. O processamento dos AUI exige significativamente menos energia do que a secagem, a refrigeração, o congelamento ou o enlatamento. Também a tecnologia dos alimentos de umidade intermediária pode levar a produtos com maior retenção de nutrientes e substâncias organolépticas quando comparados a tratamentos térmicos mais intensos. Os AUI são disponíveis para consumo direto sem preparação, oferecendo conforto e mais economia de energia. Devido a sua umidade relativamente baixa, alimentos de umidade intermediária são concentrados em peso e massa e possuem alto teor de nutrientes. Podem ser armazenados sem precauções especiais por alguns meses. Embora a embalagem apropriada seja um fator importante no prolongamento de sua vida de prateleira, as embalagens necessárias para AUI não necessitam de especificações tão rigorosas como muitas outras categorias de alimentos.

Os alimentos de umidade intermediária são atrativos especialmente onde a carga de abastecimento, a habilidade de reabastecimento e o tempo de preparação, são fatores limitantes, segundo Brockman (1970), em situações militares, ou segundo Smith et al. (1971), em viagens espaciais.

Produtos de umidade intermediária tem sido fabricados a partir de pedaços de frutos. Levi et al. (1985) prepararam AUI de pedaços de mamão. Eles foram primeiramente lavados em água quente com uma solução de 70% de sacarose e então desidratados em uma câmara de secagem até ficar com 70% de matéria seca. Após

lavados, os pedaços foram mergulhados em uma solução de sorbato de potássio de 5000 a 10000 ppm pelo período de 10 a 15 minutos. O açúcar penetra no fruto aumentando a pressão osmótica que age como inibidor de atividade microbiológica. De acordo com esses autores, AUI tem atividade d'água abaixo de 0,8 e pode ocorrer o crescimento de fungos. Singh et al. (1986) prepararam AUI com pedaços de maçã. A secagem foi feita em batelados tipo dessecador com circulação forçada de ar a 70°C. Antes da secagem os pedaços de maçãs foram mergulhados em uma solução de NaHSO₃ a 2% pelo período de 5 a 6 minutos para prevenir o escurecimento enzimático. Eles observaram que a vida média para este produto com atividade d'água de 0,62, armazenado a 25°C é de 32 dias.

De acordo com Quast e Teixeira Neto (1975), em climas tropicais, AUI geralmente absorvem umidade e pequenos aumentos na atividade d'água podem permitir o crescimento microbiano. Já em climas temperados onde o ambiente de umidade relativa é geralmente abaixo da umidade relativa de equilíbrio dos AUI, não existe este problema. Portanto em climas tropicais a embalagem e o manuseio das AUI merecem atenções especiais.

2.4 Perda de vitamina C

A perda da qualidade nutricional durante o processamento e a estocagem de alimentos tem-se tornado um problema crescente com a introdução dos regulamentos de classificação nutricionais. Para aumentar o valor nutritivo de alimentos processados, muitos produtos são agora enriquecidos com vitaminas e minerais. A vitamina C é uma destas vitaminas.

A degradação da vitamina C pode se tornar um fator limitante na determinação da vida de prateleira de vários produtos, Laing et al. (1978). Esta degradação depende de diversos fatores os quais incluem oxigênio, pH, luz, temperatura e conteúdo de umidade ou atividade d'água (a_w). Entretanto em alimentos embalados armazenados, os maiores fatores que podem afetar as reações degradativas são a temperatura de armazenamento e a atividade d'água do produto, Singh e Lund (1986).

Lee e Labuza (1975), mostraram que as taxas de perda de vitamina C em alimento de umidade intermediária são grandemente afetadas pelas mudanças na atividade d'água. Aumentando-se a a_w , aumenta-se a taxa de perda de vitamina C.

Estudando um sistema modelo de AUI como função da atividade d'água e da temperatura, Laing et al. (1978) concluíram que altas concentrações iniciais de ácido ascórbico são necessárias para estudos com altas temperaturas. Dentro do raio de temperatura de 61 - 92°C, a taxa de degradação do ácido ascórbico aumenta com o aumento da temperatura e com o aumento da atividade d'água, entretanto acima de 92°C as taxas diminuem com o aumento da temperatura, devido a inibição de enzimas que ocorre a temperaturas elevadas.

Wirakartakushah, Satiawiharoja e Syah (1986), em estudos sobre as mudanças de qualidade de alimentos durante o processamento e a estocagem na Indonésia, observaram a estabilidade da vitamina C em um alimento chamado "Bahan Makanan Campuran Formula XI". O produto foi embalado com materiais diferentes incluindo plásticos, folha delgada de metal e

laminados. Eles relataram que os materiais da embalagem não apresentaram efeitos distintos e em todos os sistemas de embalagem a vitamina C foi destruída significativamente após 10 semanas de estocagem.

2.5 Vida de prateleira

Há muitos fatores que influenciam a velocidade de perda da qualidade de um alimento desidratado durante a armazenagem. Entre outros, pode-se destacar as propriedades físicas, a composição química, as reações oxidativas, a atmosfera em torno do produto, a temperatura e o seu próprio conteúdo de umidade. Entre estes, o conteúdo de umidade é o mais importante, desde que, a influência dos outros sobre a qualidade é extremamente afetada por ele, especialmente quando a temperatura do alimento é mantida constante. Desta maneira o conhecimento da curva de umidade relativa de equilíbrio ou isoterma de absorção d'água e de suas equações, é essencial para predição da vida de prateleira de um alimento de baixo teor d'água, Mizrahi et al. (1977), Simon et alii (1971), Labuza et al. (1970) e Quast et al. (1976).

Segundo Quast e Karel (1972), sendo o Brasil um país de clima tropical, a embalagem dos alimentos de umidade intermediária, como também de produtos desidratados, merece uma atenção especial, porque a umidade relativa pode permanecer entre 80 e 90%, condições em que a umidade se difunde para dentro da embalagem, aumentando a umidade do produto.

Makinde et al. (1976) afirmam também que em produtos desidratados podem ocorrer perdas de valor nutricional, pela destruição de vitaminas e proteínas e deterioração de gorduras. Essas perdas, principalmente as relacionadas com reações enzimáticas e oxidação, são catalizadas pela difusão de umidade, oxigênio e luz, o que indica que a embalagem tem papel fundamental nessas perdas.

2.6 Modelo matemático

2.6.1 Perda de vitamina C

Várias simulações no computador para prever a degradação da vitamina C foram desenvolvidas nos últimos anos.

De acordo com Singh e Lund (1986), os maiores fatores que afetam as reações degradativas são a temperatura de armazenamento e a atividade d'água do produto. Dessa forma, Purwadaria et al. (1979) desenvolveram simulações no computador para prever o teor de umidade e a degradação da vitamina C em um produto alimentício modelo desidratado, considerando simultaneamente a influência da atividade d'água e da temperatura sobre taxas constantes, as quais, mudam com o tempo de estocagem devido a variações ambientais de armazenamento.

Outra simulação no computador, agora para prever a degradação da vitamina C durante estocagem de suco de tomate enlatado, foi desenvolvida por Lee (1976). O efeito do pH, cobre e a temperatura de estocagem foram os parâmetros utilizados no modelo matemático.

Wanninger (1972), também pressupôs um modelo matemático da taxa de degradação da vitamina C. Para isto ele se baseou na química do ácido ascórbico e utilizou dados de literatura, Vojnovich e Pfeifer (1970), para verificar sua aplicabilidade.

2.6.2 Vida de prateleira

Assume-se que os mecanismos de deterioração que limitam a vida de prateleira e suas dependências pelos parâmetros ambientais (oxigênio, atividade d'água, temperatura), podem ser descritos como uma função matemática, não necessariamente analítica, segundo Lima (1981), como se descreve na equação seguinte:

$$\frac{dD}{dt} = f (UR, P_{O_2}, T)$$

onde,

D = índice de deterioração;

t = tempo;

UR = umidade relativa;

P_{O₂} = pressões parciais de oxigênio;

T = temperatura.

Durante os últimos anos, pesquisas tem sido realizadas para predizer a vida de prateleira de alimentos acondicionados em embalagens flexíveis. Karel (1972), apresentou uma aproximação para predizer a vida de prateleira, baseado em informações obtidas por determinações experimentais das propriedades dos

alimentos, cinéticas de deterioração e propriedades de embalagem. Kwolek e Bookwalter (1971), desenvolveram um modelo matemático para prever a estabilidade de estocagem como função do tempo, temperatura e parâmetros cinéticos de qualidade.

A predição de níveis de proteção requeridos contra a umidade tem sido alcançada para produtos nos quais o conteúdo de umidade crítica pode ser especificado. Desse modo, Labuza et al. (1972), utilizaram a seguinte equação diferencial para transferência de água através de um filme envolvendo o alimento:

$$\frac{dw}{dt} = \left(\frac{K_{H_2O}}{x} \right) \cdot A \cdot (P_{out} - P_{in}) \quad \dots\dots\dots (2.6.2.1)$$

onde:

K_{H_2O} = permeabilidade do filme, $gH_2O \cdot mm/mmHg \cdot dia \cdot m^2$;

X = espessura do filme, mm;

P_{out} = pressão de vapor d'água fora do filme, mm Hg;

P_{in} = pressão de vapor d'água dentro do filme, mm Hg;

A = área embalada, m^2 ;

w = peso de água transportada através do filme, g;

t = tempo, dias.

E utilizou a seguinte equação para o isoterma:

$$U = b a_w + c \quad \dots\dots\dots (2.6.2.2)$$

onde:

a_w = atividade d'água de equilíbrio, % UR/100;

b = é a inclinação da reta;

c = é o ponto onde a reta intercepta o eixo U ;

U = conteúdo de umidade do alimento, fração em base seca;

As isotermas não são lineares, porém inúmeros pesquisadores preferem simplificar os cálculos subsequentes como Labuza (1972) neste caso, pela aproximação da isoterma com uma linha reta que passa pela origem, porque esta significação permite obter uma solução analítica da equação.

Mizrahi et al. (1970) usou a seguinte equação para expressar a relação entre o conteúdo de umidade e a atividade d'água do alimento:

$$a_w = \frac{a + U}{b + U} \quad \dots\dots\dots (2.6.2.3)$$

onde:

a, b = coeficientes determinados por análise de regressão de dados experimentais em $U_e \times UR$;

U = conteúdo de umidade do alimento, fração em base seca;

a_w = atividade d'água de equilíbrio, % UR/100.

Esta equação obteve resultados bem melhores do que a eq. (2.6.2.2), em estudos de umidade em repolho desidratado (Mizrahi et al., 1970), explicando realmente o fenômeno de absorção da água pelo alimento.

A equação (2.6.2.1) em combinação com a equação (2.6.2.3) produz uma equação diferencial a qual não tem solução analítica e só pode ser resolvida através de métodos numéricos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

Para realização deste trabalho foram utilizadas mangas da variedade Haden (*Mangifera indica* L.).

Os frutos foram adquiridos de fonte comercial (Lavras - MG) e conduzidos ao Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita de Frutos e Hortaliças (Departamento de Ciência dos Alimentos, ESAL) para utilização imediata.

3.2 Métodos

3.2.1 Preparação dos frutos

Os frutos uniformemente maduros foram descascados, fatiados e centrifugados até se obter uma mistura suco-polpa totalmente homogênea.

3.2.2 Adição de ácido ascórbico

Com a finalidade de se obter uma quantidade razoável de vitamina C após a desidratação e durante o armazenamento das

amostras, para estudos das mudanças de estabilidade, o ácido ascórbico foi adicionado diretamente na mistura suco-polpa "in natura" na quantidade de 10 mg/100 g de polpa (determinados anteriormente em pré-testes) e misturado suficientemente até assegurar uniformidade.

3.2.3 Condições de desidratação

A mistura suco-pola de manga foi colocada em placas de petri (30 g por placa) e submetida a desidratação parcial em estufa ventilada FANEM, operando a $70 \pm 1^\circ\text{C}$ até atingir a umidade residual desejada de 21% (b.u.). Este foi o conteúdo de umidade inicial do IMF no armazenamento.

3.2.4 Embalagem

Após a desidratação parcial as amostras foram retiradas das placas de Petri e embaladas em filme flexível e auto-aderente de PVC, Good Year com espessura de 12 micras e coeficiente de permeabilidade ao vapor d'água de $0,00013051 \text{ g de H}_2\text{O} \cdot \text{cm/m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{dia}$, normalmente utilizado em supermercados com embalagens de hortifrutícolas, produtos de padaria, etc. O filme foi colocado de forma que uma camada não sobrepôs a outra, obtendo-se assim um ambiente selado.

3.2.5 Análises químicas

3.2.5.1 Acido ascórbico

As análises de vitamina C total foram feitas pelo método colorimétrico com 2,4 dinitrofenilhidrazina, segundo Brune et al. (1966) e expressa em mg/100 g de polpa.

3.2.5.2 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade (base úmida) da mistura suco-polpa foi feita em triplicata utilizando o método gravimétrico de Horwitz (1975). As amostras foram desidratadas em estufa ventilada FANEM, ajustada para $60 \pm 1^\circ\text{C}$ até atingirem peso constante.

3.2.6 Avaliações de estabilidade

3.2.6.1. Condicionamento ambiental

Para o condicionamento das amostras foram utilizadas temperaturas e umidades relativas referidas na Tabela 1. Os ambientes de umidades relativas foram obtidos no interior de dessecadores contendo soluções salinas saturadas, conforme sugerido por Rockland (1960). Os dessecadores foram então colocados em estufas nas temperaturas referidas na Tabela 1, em total ausência de luz.

3.2.6.2. Teor de umidade e perda de vitamina C

As amostras foram retiradas dos dessecadores, desembaladas e pesadas em intervalos de 10 dias de armazenamento, em balança semi-analítica METTLER modelo PC 2000. O teor de umidade absorvido ou desorvido foi calculado com base na diferença entre os pesos intermitentes (peso na retirada de amostra) e inicial das amostras e os resultados expressos em base seca. As análises de vitamina C total foram feitas juntamente com as pesagens, pelo método colorimétrico 2,4-dinitrofenilhidrazina.

TABELA 1. Características das soluções saturadas e suas umidades relativas em diferentes temperaturas.

Soluções	Umidade relativa		
	10°C	27°C	42°C
MgCl ₂ . H ₂ O	33	33	31
K ₂ CO ₃	47	43	40
NaCl	75	75	75

Fonte: Rockland (1960).

3.2.7 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com três repetições. Os fatores avaliados foram tempo, temperatura e umidade relativa de armazenamento. Foram utilizados um total de 81 amostras nos tratamentos.

3.2.8 Desenvolvimento de modelagem matemática

3.2.8.1 Perda de vitamina C

Considerando a reação de degradação como de 1ª ordem sobre a concentração de ácido ascórbico, a seguinte equação diferencial é escrita:

$$\frac{dC}{dt} = - KC \dots\dots\dots (3.2.10.1.2)$$

onde,

C = concentração de ácido ascórbico;

t = tempo;

K = coeficiente, tempo⁻¹.

(O sinal negativo indica que a vitamina C degrada com o tempo).

Separando variáveis e integrando entre os limites de C₀ até C no tempo 0 até t.

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = - K \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = - Kt$$

$$C = C_0 \cdot \exp (- Kt) \dots\dots\dots (3.2.10.1.3)$$

onde,

C₀ = concentração inicial de ácido escórbico.

Efeito da temperatura

A influência da temperatura é descrita pela equação de Arrhenius:

$$K = K_0 \exp(-E/RT) \dots\dots\dots (3.2.10.1.4)$$

onde,

K_0 = constante de Arrhenius, tempo⁻¹;

E = energia de ativação, J/mol;

R = constante universal dos gases, 8,314 J/mol K;

T = temperatura absoluta, K.

Os valores de K, foram determinados através de regressão exponencial dos dados experimentais. Esses valores foram correlacionados de acordo com as condições de armazenamento (temperaturas e umidades relativas empregadas no experimento), através de regressões múltipla quadrática e multilinear. A regressão multilinear apresentou melhor correlação, sendo os dados ajustados por:

$$K = 0,3331301 - 94,01089 \cdot \frac{1}{T} + 0,01409073 \text{ UR} \dots\dots (3.2.10.1.5)$$

com R = 0,8974.

onde,

T = temperatura absoluta, K

UR = umidade relativa, fração

A expressão (3.2.10.1.5) foi substituída na equação (3.2.10.1.3) e a equação final estimou o conteúdo de vitamina C como função da temperatura, da umidade relativa do ambiente de armazenamento e do tempo de armazenamento.

3.2.8.2 Cálculo do teor de vitamina C total

Os valores estimativos da vitamina C total foram obtidos, através de programa computacional desenvolvido em linguagem FORTRAN, empregando-se a combinação das equações (3.2.10.1.3) e (3.2.10.1.5).

3.2.8.3 Vida de prateleira

Um filme semi-permeável transporta vapor d'água através da sua espessura em virtude da diferença da pressão de vapor através do filme. A taxa de transporte de vapor d'água é dada pela equação:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{K_{H_2O}}{X} A (P_{out} - P_{in}) \dots\dots\dots (3.2.10.3.1)$$

onde,

w = peso da água transportada através do filme, g;

t = tempo, dias;

K_{H_2O} = permeabilidade do filme, g H₂O. cm/m². Pa.dia;

X = espessura do filme, cm;

A = área do filme, m² ;

P_{out} = pressão de vapor d'água fora da embalagem, Pa;

P_{in} = pressão de vapor d'água dentro da embalagem, Pa.

por definição,

$$U = \frac{w}{ws} = \frac{\text{Peso da água transportada}}{\text{Peso de sólidos secos}} \dots\dots\dots (3.2.10.3.2)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dw}{dt \cdot ws} \dots\dots\dots(3.2.10.3.3)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{dU \cdot ws}{dt} \dots\dots\dots(3.1.10.3.4)$$

Utilizando a Isoterma de Mizrahi (1970):

$$a_w = \frac{a + U}{b + U} \dots\dots\dots(3.2.10.3.5)$$

onde,

a_w = atividade da água de equilíbrio, % UR/100;

U = conteúdo de umidade, fração em base seca;

a, b = coeficientes

$$a_w (b + U) = a + U$$

$$a_w (b + U) - a - U = 0$$

$$U (a_w - 1) + a_w b - a = 0$$

$$U (a_w - 1) = a - a_w b$$

$$U = \frac{a - a_w b}{a_w - 1} \dots\dots\dots(3.2.10.3.6)$$

Pode-se de um modo geral, esquematizar a transferência de umidade de fora da embalagem para dentro, dividindo-a em duas partes:

a) do exterior para o interior da embalagem.

por definição para U_e , $a_w = \frac{P_{out}}{P_0}$

onde,

P_0 = pressão de vapor d'água pura saturada a uma mesma T.

P_{out} = pressão de vapor d'água fora da embalagem.

Então,

$$U_e = \frac{a - \frac{P_{out}}{P_0} \cdot b}{\frac{P_{out}}{P_0} - 1} \dots \dots \dots (3.2.10.3.7)$$

$$U_e \cdot \left(\frac{P_{out}}{P_0} - 1 \right) = a - \frac{P_{out}}{P_0} \cdot b \dots \dots \dots (3.2.10.3.8)$$

$$\frac{P_{out}}{P_0} (U_e + b) = U_e + a \dots \dots \dots (3.2.10.3.9)$$

$$P_{out} = P_0 \left(\frac{U_e + a}{U_e + b} \right) \dots \dots \dots (3.2.10.3.10)$$

b) do interior da embalagem à superfície do alimento

por definição para U, $a_w = \frac{P_{in}}{P_0}$

Então,

$$P_{in} = P_0 \left(\frac{U + a}{U + b} \right) \dots \dots \dots (3.2.10.3.11)$$

$$P_{out} - P_{in} = P_0 \left(\frac{U_e + a}{U_e + b} \right) - P_0 \left(\frac{U + a}{U + b} \right) \dots \dots \dots (3.2.10.3.12)$$

Substituindo na equação (3.2.10.3.1):

$$\frac{dU}{dt} \cdot ws = \frac{K_{H_2O} \cdot A}{x} (P_{out} - P_{in}) \dots \dots \dots (3.2.10.3.13)$$

$$\frac{dU}{dt} \cdot ws = \frac{K_{H_2O} \cdot A}{x} \left[P_0 \left(\frac{U_e + a}{U_e + b} \right) - P_0 \left(\frac{U + a}{U + b} \right) \right] \dots \dots \dots (3.2.10.3.14)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{K_{H_2O} \cdot A \cdot P_0}{ws \cdot x} \cdot \left(\frac{U_e + a}{U_e + b} \right) - \frac{K_{H_2O} \cdot A \cdot P_0}{ws \cdot x} \left(\frac{U + a}{U + b} \right) \dots (3.2.10.3.15)$$

onde:

U_e (umidade de equilíbrio) foi determinada experimentalmente através dos gráficos de umidade relativa de equilíbrio;

a e b são os coeficientes de análises de regressão dos dados experimentais em $U_e \times UR$.

A equação (3.2.10.3.15) pode ser expressa desta forma:

$$\frac{dU}{dt} = C_1 \cdot \frac{U_e + a}{U_e + b} - C_1 \cdot \frac{U + a}{U + b} \dots\dots\dots (3.2.10.3.16)$$

a qual é uma equação diferencial da primeira ordem. Esta equação (3.2.10.3.16) com a condição inicial [$U(t = 0) = U_0$] pode ser resolvida numericamente pelo método de Runge-Kutta de 4ª ordem para determinar o conteúdo de umidade (U) relacionado com o tempo (t).

3.2.8.4 Determinação do tempo total de armazenamento ou vida de prateleira

Os valores estimativos da vida de prateleira foram obtidos através de programa computacional em linguagem FORTRAN, empregando-se a equação (3.2.10.3.16).

Como esta equação não possui solução analítica, tornou-se necessário a utilização de um método numérico para a sua resolução. Através do programa, utilizando o método Runge-Kutta de 4ª ordem com a seguinte condição inicial: $U(t = 0)$, pôde-se determinar a taxa de transferência de umidade com o tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Conteúdo de Umidade e de Vitamina C total do fruto "in natura"

Foram feitas análises para se determinar o conteúdo de umidade inicial (b.u.) e o conteúdo de vitamina C total, no fruto fresco. A Tabela 2 mostra os valores obtidos através dessas análises de umidade e de Vitamina C total da manga madura, variedade Haden.

TABELA 2. Valores do conteúdo de umidade e vitamina C total da polpada manga madura, variedade Haden.

Umidade (%)	81,62
Vitamina C total (mg/100g)	32,42

4.2 Perda de Vitamina C durante o processo de desidratação

Durante o processo de desidratação, houve além de perdas, uma concentração de vitamina C no alimento com a retirada parcial do seu conteúdo d'água. O peso inicial das amostras que era de 30 g se reduziu para cerca de 6,8 g por placa. O conteúdo de vitamina C aumentou cerca de 4,4 vezes sem considerar as

perdas ocorridas na desidratação, porém o valor final do teor de vitamina C no AUI foi de 130,6 mg/100 g ocorrendo portanto uma considerável diminuição da vitamina (cerca de 54,72 mg/100g) durante o processo de desidratação. Estas perdas provavelmente ocorreram devido a temperatura elevada de desidratação ($70 \pm 1^\circ\text{C}$), já que o processo ocorreu em total ausência de luz. Mudanças na temperatura modificam a velocidade das reações oxidativas de degradação de vitamina C. Reações químicas não enzimáticas tem energias de ativação entre 10 a 40 kcal/mol, a cada aumento de 10°C na temperatura de secagem, a velocidade das reações aumenta de 2 a 15 vezes mais. O conteúdo de umidade também tem um papel fundamental na destruição de vitaminas hidrossolúveis durante a desidratação, pois a medida que se diminui a umidade e a a_w do seu valor natural a solução aquosa torna-se mais concentrada e aumentando-se a concentração de solução, a velocidade das reações oxidativas aumentam (Harris e Karmas, 1977).

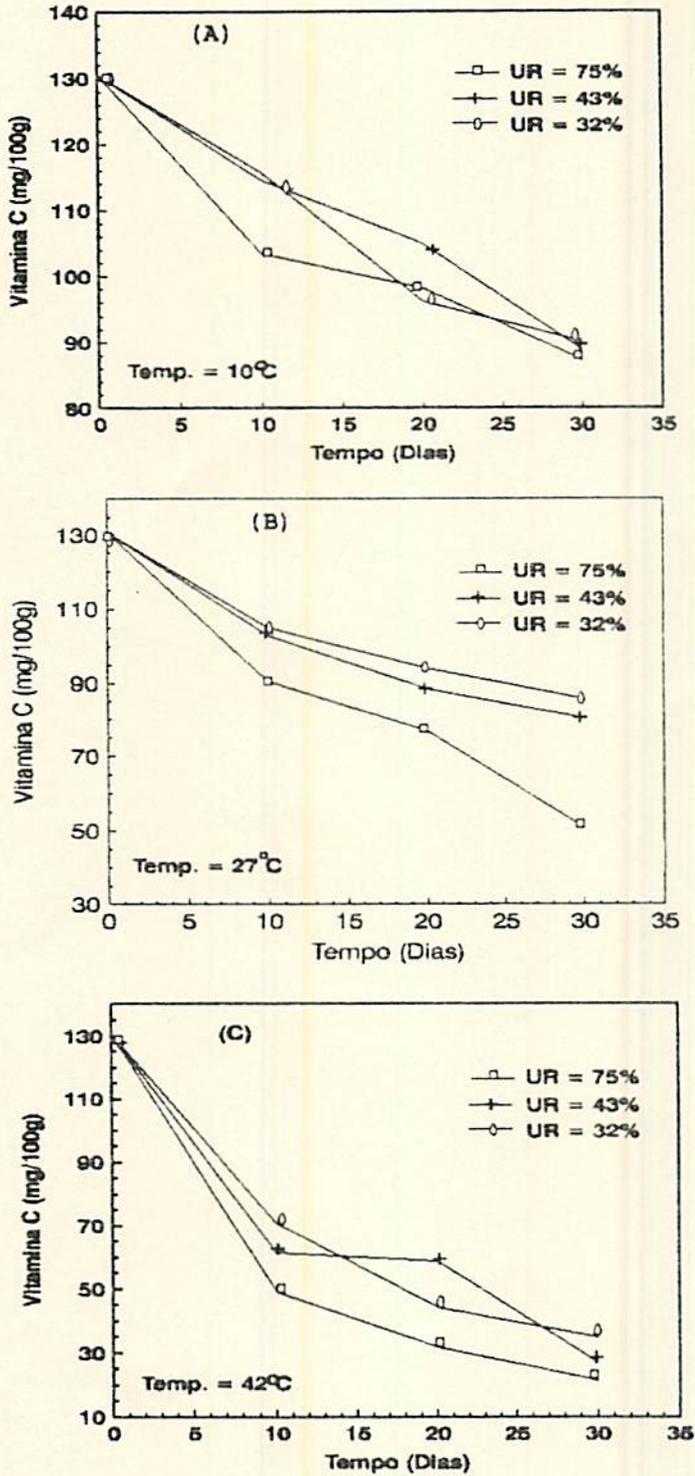
4.3 Perda de vitamina C durante o armazenamento

A Tabela 3 apresenta os valores médios do conteúdo de vitamina C total dos AUI durante o armazenamento. A ANAVA e os testes de Tukey se encontram no Apêndice B.

A Figura 2 (A, B, C) descreve o comportamento da vitamina C durante o armazenamento de AUI com conteúdo de umidade inicial de 26,79% b.s., embalados em filme de PVC e armazenados nas temperaturas de 10, 27 e $42 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidades relativas (UR) de 32, 43 e $75 \pm 3\%$. Fixando-se os valores de UR podemos observar pela

TABELA 3. Valores médios do conteúdo de vitamina C total, de AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% (b.s.), embalados em filme de PVC e armazenados nas temperaturas de 10,27 e 42±1°C e UR de 32, 43, 75 ± 3%, num período de 30 dias.

Temp. (°C)	UR (%)	Tempo (dias)	Vit. C total (mg/100g)
10±1°C	32±3%	10	115,7049
		20	96,2860
		30	90,0937
	43±3%	10	114,5894
		20	104,9284
		30	88,8602
	75±3%	10	103,4304
		20	98,1359
		30	87,2739
27±1°C	32±3%	10	104,8869
		20	93,8941
		30	85,8517
	43±3%	10	102,9506
		20	88,3729
		30	80,4215
	75±3%	10	90,3854
		20	76,9966
		30	50,7460
42±1°C	32±3%	10	71,0503
		20	44,3168
		30	35,1161
	43±3%	10	61,5565
		20	58,6821
		30	27,2559
	75±3%	10	49,3515
		20	32,0920
		30	21,6989



g.2. Vitamina C total durante o armazenamento de AUI de manga nas temperaturas de 10, 27, 42±1°C e UR de 32, 43, 75±3%; embaladas em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26.79% b.s.

Figura 2B e 2C que nas temperaturas de 27 e 42°C ocorreu uma maior perda desta vitamina.

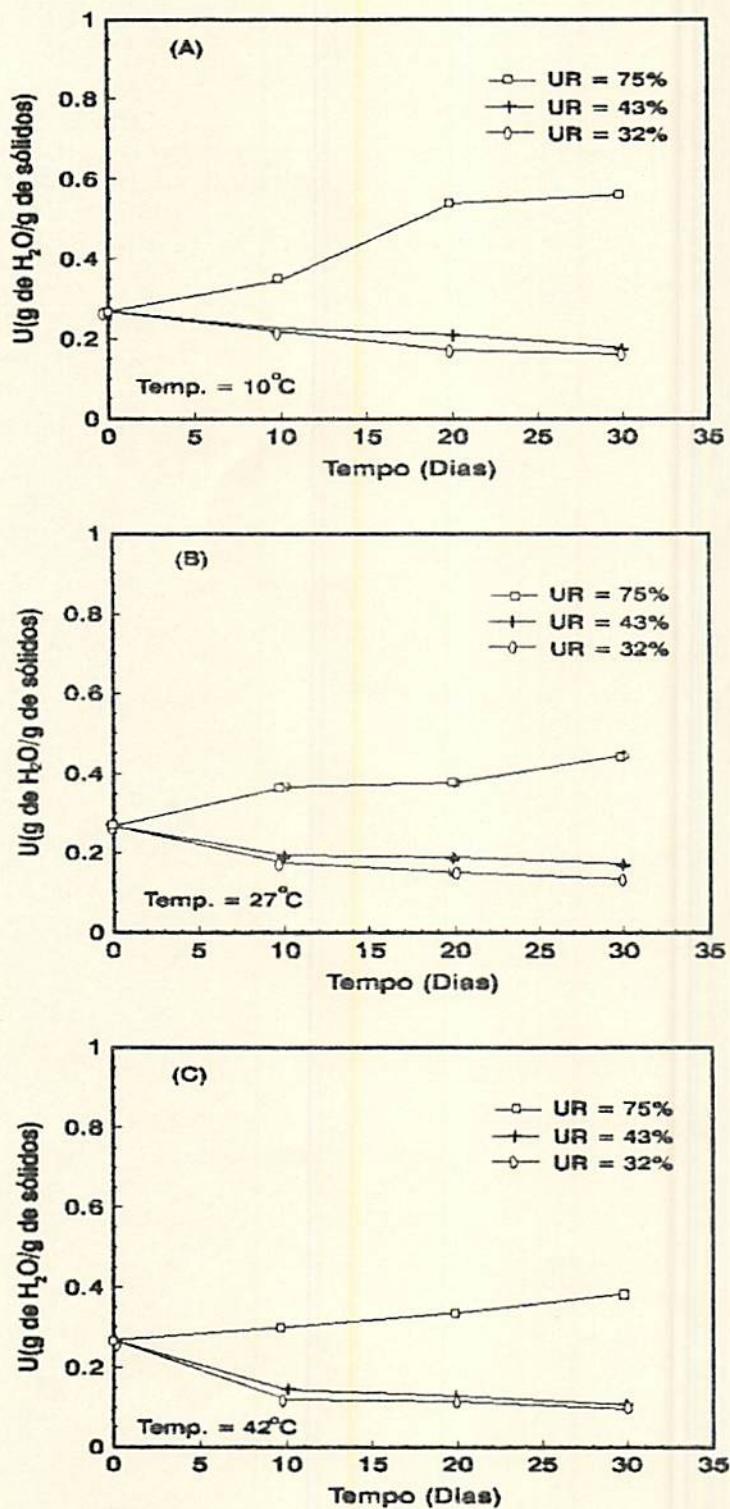
No caso das umidades relativas podemos verificar que 32 e 43% são estatisticamente iguais para os três níveis de temperatura (10, 27 e 42°C), havendo portanto maior degradação da vitamina C na UR de 75%, conforme apresentado nas Figuras 2A, 2B e 2C e verificado no Apêndice B (pág. 62).

Portanto podemos concluir que a velocidade de perda de vitamina C aumenta rapidamente com o aumento da temperatura, da atividade d'água ou de ambos como mencionado por Laing et al. (1978), e segue um modelo cinético de primeira ordem. Isto provavelmente ocorreu porque temperaturas mais altas aceleram o processo de destruição da vitamina C (Lei de Arrhenius) e atividades d'água maiores facilitam esse processo na fase aquosa diluindo a solução e facilitando a mobilidade das reações (Lee e Labuza, 1975).

Também com o aumento da temperatura, a permeabilidade do filme se eleva, portanto haveria uma maior concentração de O₂ no interior das embalagens que foram armazenadas nas temperaturas de 42 e 27°C do que na temperatura de 10°C, resultando portanto em uma maior degradação da vitamina C nestas temperaturas.

4.4 Absorção e Dessorção d'água

As cinéticas de absorção e dessecção d'água permitem uma melhor visualização do efeito da umidade relativa de armazenamento sobre o conteúdo de umidade do alimento, a uma dada temperatura mantida constante. A Figura 3 (A, B, C) mostra o grau



g.3. Cinéticas de absorção e dessorção d'agua das AUI de manga com teor de umidade inicial de 26.79% b.s., condicionados a temperaturas de 10, 27, 42±1°C e Umidades Relativas de 32, 43, 75±3%.

de absorção e dessorção dos alimentos de umidade intermediária embalados em filme de PVC flexível e armazenados em três níveis de umidade relativa e temperatura. A uma dada temperatura constante verificou-se a absorção d'água nos AUI armazenados em ambientes de 75% de umidade relativa, e dessorção em ambientes de 43 e 32% de umidade relativa. O fenômeno da absorção d'água pelas amostras ocorreu devido a sua umidade inicial ser menor do que a umidade de equilíbrio, e a dessorção devido a umidade inicial da amostra ser maior que a sua umidade de equilíbrio.

Nota-se que para temperaturas mais baixas o fenômeno de absorção d'água foi maior, e o de dessorção menor, sendo portanto a umidade de equilíbrio alcançada a valores maiores, como podemos verificar na Tabela 4.

TABELA 4. Valores de umidade de equilíbrio (U_e) obtidos experimentalmente.

Temperatura (°C)	a_w (%UR/100)	U_e (fração, b.s.)
10	0,32	0,12
	0,43	0,15
	0,75	0,57
27	0,32	0,11
	0,43	0,14
	0,75	0,48
42	0,32	0,08
	0,43	0,10
	0,75	0,40

É um fato natural que um aumento na temperatura resulta num decréscimo do conteúdo de umidade de equilíbrio (Hill e Rizvi, 1982).

Em ambientes de baixas umidades relativas (32 e 43%) observa-se que ocorreu o fenômeno comum de dessorção d'água, ou seja, os AUI perderam água para o ambiente de condicionamento, de acordo com o que foi descrito por Costa (1991).

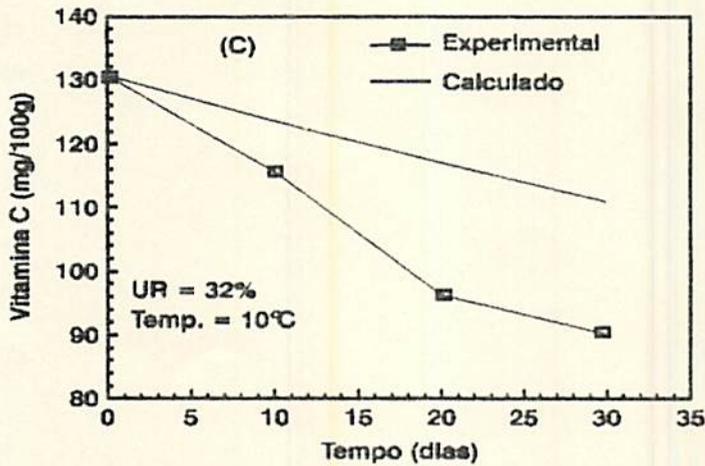
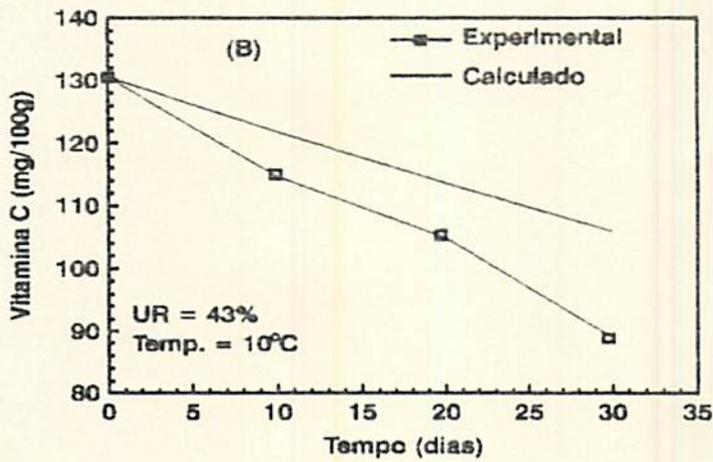
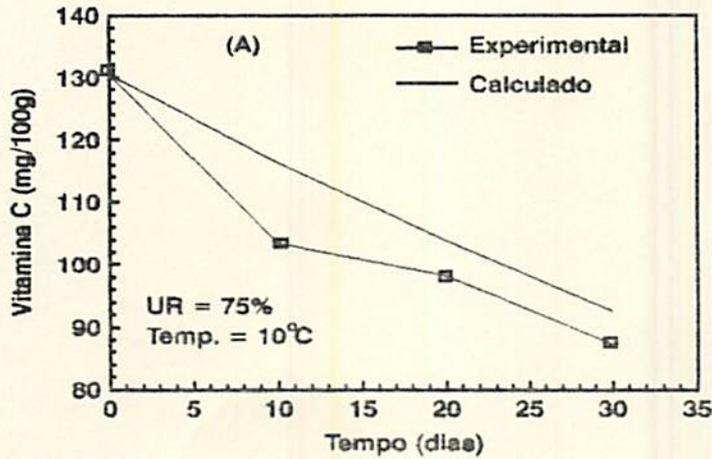
4.5 Modelo Matemático

4.5.1 Perda de Vitamina C

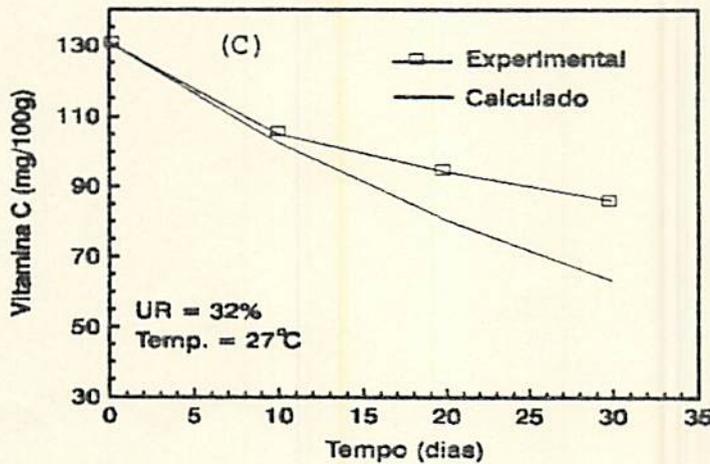
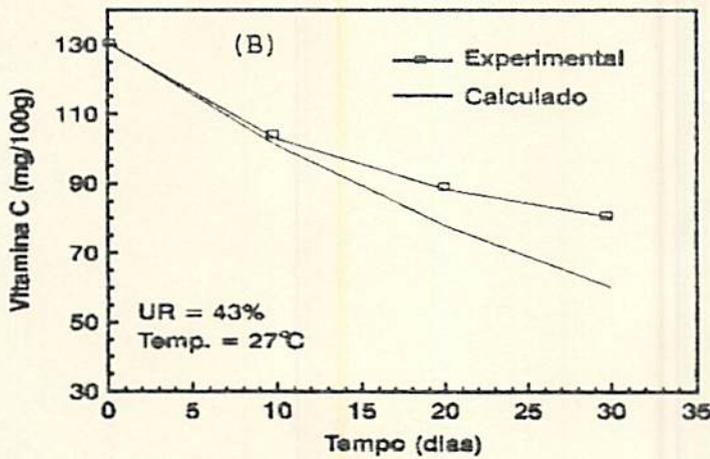
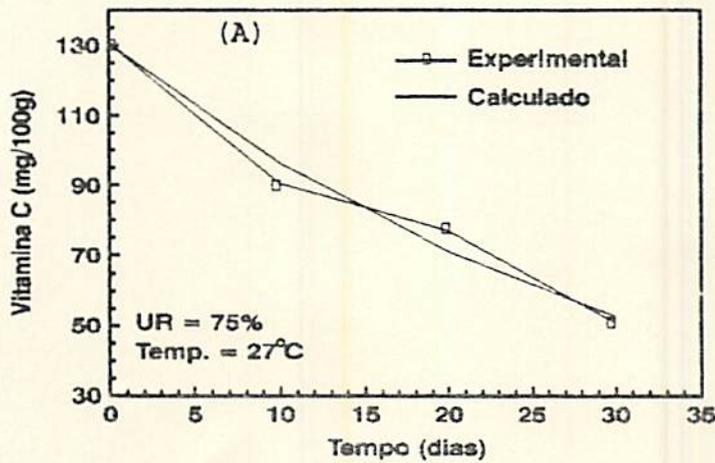
Os dados estimativos obtidos através de método computacional e dados experimentais da concentração de vitamina C total em alimentos de umidade intermediária, embalados em filme de PVC flexível, são apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.

A estimativa computacional da variação dessa vitamina, foi obtida através de programa desenvolvido em linguagem FORTRAN (Apêndice A1) a partir de valores obtidos experimentalmente.

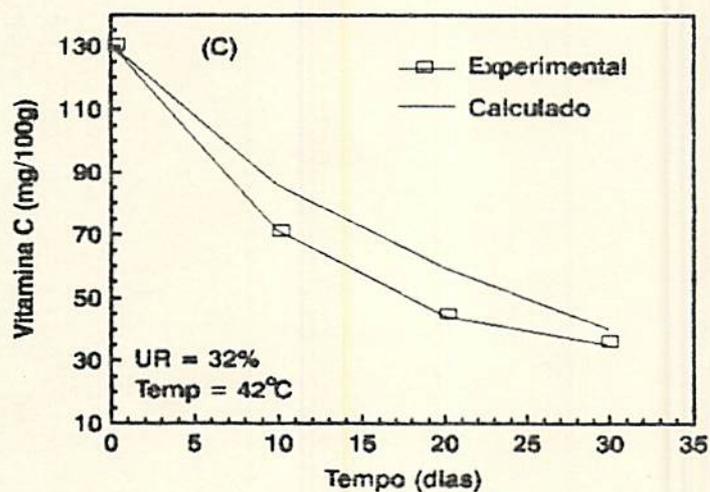
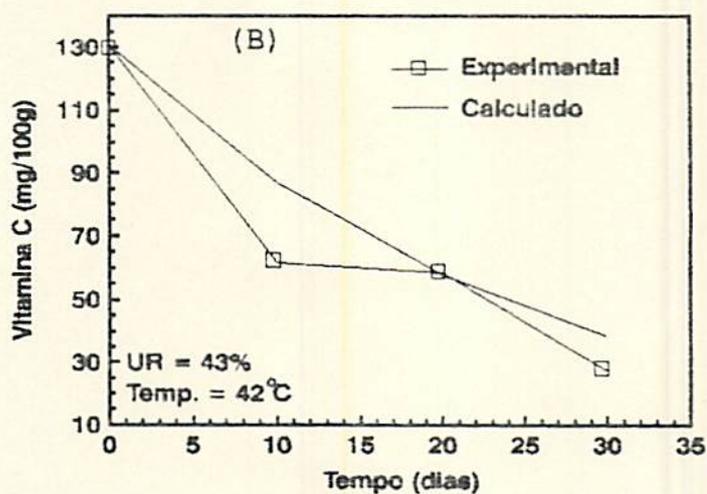
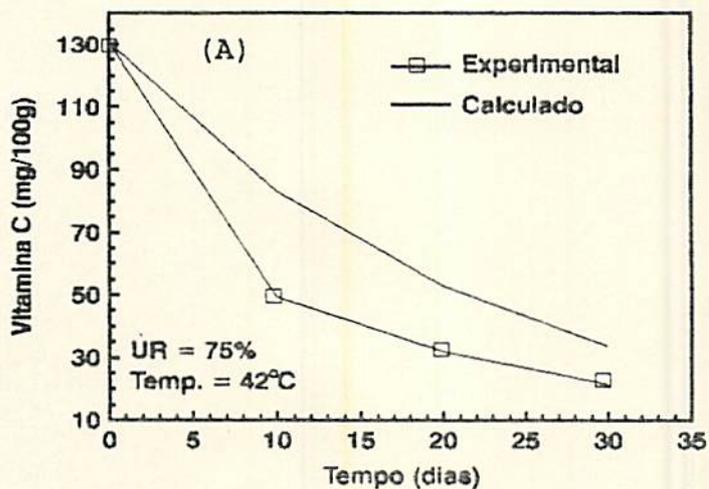
Os valores obtidos na estimativa computacional variaram na faixa de 23,8072 a 130,2033 mg/100g, indicando uma validade satisfatória entre os valores experimentais e os previstos pelo modelo matemático. Os melhores ajustes foram verificados na temperatura de 27°C (Figura 5), provavelmente devido ao fato desta temperatura permitir uma melhor estabilidade da vitamina C nos níveis de umidade relativa estudados. Do 15º ao 26º dia, os dados experimentais apresentaram valores superiores aos estimados



4. Comparação entre os resultados experimentais (\square) e estimados por modelo matemático (—) do conteúdo de vitamina C total de AUI de manga armazenados na temperatura de $10 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR de 32, 43 e $75 \pm 3\%$; embalados em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26.79% b.s.



5. Comparação entre os resultados experimentais (\square) e estimados por modelo matemático (—) do conteúdo de vitamina C total de AUI de manga armazenados na temperatura de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR de 32, 43 e $75 \pm 3\%$; embalados em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26.79% b.s.



6. Comparação entre os resultados experimentais (\square) e estimados por modelo matemático (—) do conteúdo de vitamina C total de AUI de manga armazenados na temperatura de $42 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR de 32, 43 e $75 \pm 3\%$; embalados em filme de PVC e com conteúdo de umidade inicial de 26.79% b.s.

na UR de 75%. Nas demais temperaturas (10 e 42°C), os dados estimados apresentaram valores superiores aos experimentais.

Para os AUI armazenados a 10°C, os melhores ajustes foram observados nas umidades relativas de 75% e 43% (Figuras 4A e 4B). O mesmo não ocorreu para a UR de 32% (Figura 4C) possivelmente porque o modelo desenvolvido não pôde estimar com maior precisão as mudanças de estabilidade da vitamina C do 10º dia em diante nesta umidade relativa, conforme observado na Figura 4.

Pela Figura 6 podemos observar que na temperatura de 42°C o ajuste obtido também foi satisfatório, apenas ocorrendo pequenos desvios entre os valores observados e estimados (do 10º ao 20º dia), principalmente na UR de 75%.

Já para a temperatura de 10°C e UR de 32% (Figura 4C) os melhores ajustes ficaram entre os 10 primeiros dias de armazenamento. O comportamento discrepante neste caso pode ser decorrente de mudanças variadas na estabilidade da vitamina C, nesta umidade relativa.

Este modelo matemático relaciona as principais variáveis envolvidas no armazenamento dos alimentos de umidade intermediária, permitindo estimar adequadamente a concentração da vitamina C total durante este armazenamento. O modelo proposto consiste num método simples e rápido, envolvendo poucos parâmetros e que, no entanto, permite estimar o conteúdo de vitamina C, economizando tempo e reduzindo os custos por não necessitar da condução de experimentos. Além disso, permite a extrapolação das variáveis secundárias estudadas (temperatura,

umidade relativa, concentração inicial), para observar os efeitos destas sobre a vitamina C.

A metodologia descrita nesse trabalho pode ser estendida para outros alimentos de umidade intermediária, sendo necessário para isso conduzir experimentos abrangendo situações variadas, para determinação de coeficiente de proporcionalidade, específico para cada produto.

4.5.2 Valores estimados pelo modelo matemático da perda de vitamina C utilizando condições diversas

Utilizando o programa em linguagem FORTRAN desenvolvido para estimar o conteúdo de vitamina C nos alimentos de umidade intermediária (Apêndice A1), tornou-se possível analisar a perda dessa vitamina sobre três aspectos:

A) Efeito da concentração inicial de vitamina C no alimento

Para isso utilizamos simulações com três concentrações iniciais de vitamina C: 80,0; 130,6 e 180,0 mg/100g, nas mesmas condições de armazenamento (10°C e 32% de UR).

O programa nos forneceu os valores do conteúdo de vitamina C dos alimentos durante o armazenamento, como mostrado na Tabela 5. Podemos verificar através destes resultados que as concentrações iniciais de vitamina no alimento, não influem na sua perda durante o armazenamento. A perda de vitamina C é proporcional a concentração inicial desta nos AUI, conforme o que foi descrito por Sakai et al. (1987).

TABELA 5. Valores do conteúdo de vitamina C total (mg/100g) obtidos por, método computacional (Apêndice A1), de AUI de manga com três concentrações iniciais de vitamina C diferentes (80, 130,6 e 180,0) e teor de umidade inicial de 26,79% b.s., armazenados a 10°C e UR de 32%.

Tempo (dias)	Concentração inicial de vit. C (mg/100g)			Perda total (%)
	80	130,6	180,0	
10	75,76	123,67	170,46	15,07
20	71,74	117,12	161,42	15,07
30	67,94	110,91	152,82	15,07

B) Efeito da temperatura de armazenamento

Mantendo constantes os valores da concentração inicial de vitamina C no AUI e da umidade relativa de armazenamento (Tabela 6), observamos que temperaturas de armazenamento mais elevadas, aumentam as perdas da vitamina C, obedecendo a equação de Arrhenius.

C) Umidade relativa de armazenamento

A Tabela 7 apresenta os valores dos conteúdos de vitamina C, obtidos através do método computacional, quando a temperatura de armazenamento e a concentração inicial de vitamina C são mantidos constantes. Observa-se que para umidades relativas de armazenamento mais altas, a perda de vitamina C é mais acentuada, conforme relatado por Lee e Labuza (1975).

TABELA 6. Valores do conteúdo de vitamina C total (mg/100g) obtidos por método computacional (Apêndice A1) de AUI de manga com a mesma concentração inicial de vitamina C (130,6 mg/100g) e teor de umidade inicial de 26,79% b.s., armazenados em UR de 75%.

Tempo (dias)	Temperatura (°C)					
	10	20	27	30	45	50
10	116,40	103,93	96,43	93,48	83,06	77,14
20	103,75	82,70	71,20	66,92	52,83	45,57
30	92,48	65,81	52,57	47,90	33,60	26,91

TABELA 7. Valores do conteúdo de vitamina C total (mg/100g), obtidos por método computacional (Apêndice A1), de AUI de manga com a mesma concentração inicial de vitamina C (130,6 mg/100 g) e teor de umidade inicial de 26,79% b.s., armazenados a 27°C.

Tempo (dias)	UR (%)					
	32	40	56	70	83	93
10	102,45	101,30	99,05	97,11	95,35	94,01
20	80,37	78,58	75,12	72,21	69,61	67,68
30	63,05	60,96	56,97	53,70	50,82	48,72

4.5.3 Vida de prateleira

A estimativa da vida de prateleira de alimentos de umidade intermediária embalados em filme de PVC flexível com área de 244,94 cm², foi obtida através do procedimento mostrado no Apêndice A2. Esta estimativa foi desenvolvida a partir de valores obtidos experimentalmente do conteúdo de umidade das amostras durante o armazenamento.

Através desses valores, foram construídas curvas de umidades relativas de equilíbrio das amostras e desta forma obtidos os valores de umidade de equilíbrio nas referidas condições de armazenamento ($T = 10,27, 42^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 32,43,75\%$). A umidade de equilíbrio foi então colocada como uma função da temperatura e da umidade relativa de armazenamento. Utilizando a isoterma de Mizrahi (1977), através de regressão dos valores de umidade de equilíbrio e umidade relativa ambiental, obtivemos os valores dos coeficientes A e B da referida isoterma, como função da temperatura de armazenamento.

Como a equação diferencial de primeira ordem utilizada no modelo matemático não possui solução analítica, (eq. 3.2.10.3.16) tornou-se necessário, para resolução desta, a utilização de um método numérico. O método numérico utilizado, foi o Runge-Kutta de 4ª ordem, que é um método simples e de alta precisão. Através deste método computacional (Apêndice A2) torna-se possível estimar a vida de prateleira dos alimentos de umidade intermediária em diferentes condições de temperatura e de UR. Este programa pode estimar a vida de prateleira de qualquer

AUI desde que se conheça o seu conteúdo de umidade inicial (base seca), as características do material de embalagem, a área total embalada, a sua umidade crítica e as condições de armazenamento. Dessa forma, o modelo proposto consiste num método simples e rápido de se estimar a vida de prateleira, economizando tempo por não necessitar da condução de experimentos e reduzindo os gastos com materiais inadequados de embalagem. Outra vantagem, é que permite a extrapolação das variáveis secundárias estudadas (temperatura, umidade relativa, coeficiente de permeabilidade do filme, espessura do filme, área), para observar os efeitos destas sobre o comportamento da variável principal.

4.5.4 Valores estimados pelo modelo matemático de vida de prateleira

Pudemos estimar a vida de prateleira de alimentos de umidade intermediária embalados e armazenados em diferentes temperaturas e umidades relativas, fazendo uso do programa de computador mostrado no Apêndice A2. Para isto tornou-se necessário definir o conteúdo de umidade crítica do alimento, quer dizer, um conteúdo de umidade tal, que acima deste valor, ocorra o surgimento de fungos, leveduras e microorganismos que possam alterar a qualidade do alimento. Estes valores de umidade crítica variam muito de acordo com a composição química do alimento e com o tipo de bactéria ou fungo (Erickson, 1982).

Considerando uma umidade crítica de 0,5 para o AUI, obtivemos pela utilização do programa (Apêndice A2), os valores

apresentados na Tabela 8. Podemos verificar que a vida de prateleira do alimento é significativamente reduzida a medida que se aumentam os valores de temperatura e umidade relativa ambientais, porque o alimento tende a absorver umidade, devido a sua umidade inicial ser menor que a umidade de equilíbrio, conforme descrito por Mizrahi et al. (1977).

Um alimento de umidade intermediária tem o seu teor de umidade entre 10 e 40%, segundo Erickson (1982). Abaixo destes valores ele perde seus atributos de qualidade. Isto pode

TABELA 8. Valores de vida de prateleira (dias), obtidos por método computacional (Apêndice A2), de AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% b.s., embalados em filme de PVC flexível de 12 micras de espessura numa área total de 244,94 cm² e armazenados em diferentes temperaturas e umidades relativas (UC = 0,5).

Temperaturas (°C)	UR (fração)	Umidade de equilíbrio (fração)	Vida de Prateleira (dias)
10	0,80	0,5628	45
	0,85	0,6095	35
	0,90	0,6592	30
20	0,80	0,5359	34
	0,85	0,5825	24
	0,90	0,6292	20
30	0,80	0,5089	18
	0,85	0,5562	17
	0,90	0,6022	13

acontecer quando armazenamos estes alimentos em ambientes com baixas umidades relativas.

A Tabela 9 nos mostra os valores de vida de prateleira (dias) de alimentos de umidade intermediária embalados e armazenados nestas condições. Considerando a umidade crítica para este caso como 0,10 (10%), verificamos que a medida que se aumenta a temperatura e se diminui a umidade relativa de armazenamento a vida de prateleira do alimento diminui, porque a tendência do alimento é perder umidade para o ambiente, devido ao seu conteúdo de umidade inicial ser maior que a umidade de equilíbrio e aumentos na temperatura de armazenamento, diminuem ainda mais esse valor de umidade de equilíbrio do alimento.

TABELA 9. Valores de vida de prateleira (dias), obtidos por método computacional (Apêndice A2), de AUI de manga com teor de umidade inicial de 26,79% b.s., embalados em filme de PVC flexível de 12 micras de espessura numa área total de 244,94 cm² e armazenados em 3 temperaturas e 3 umidades relativas diferentes (UC = 0,1).

Temperaturas (°C)	UR (fração)	Umidade de equilíbrio (fração)	Vida de Prateleira (dias)
10	0,25	0,04962	7
	0,27	0,06829	10
	0,30	0,0962	21
20	0,25	0,0226	3
	0,27	0,0413	4
	0,30	0,0693	5
25	0,25	0,0091	2
	0,27	0,0278	2
	0,30	0,0558	3

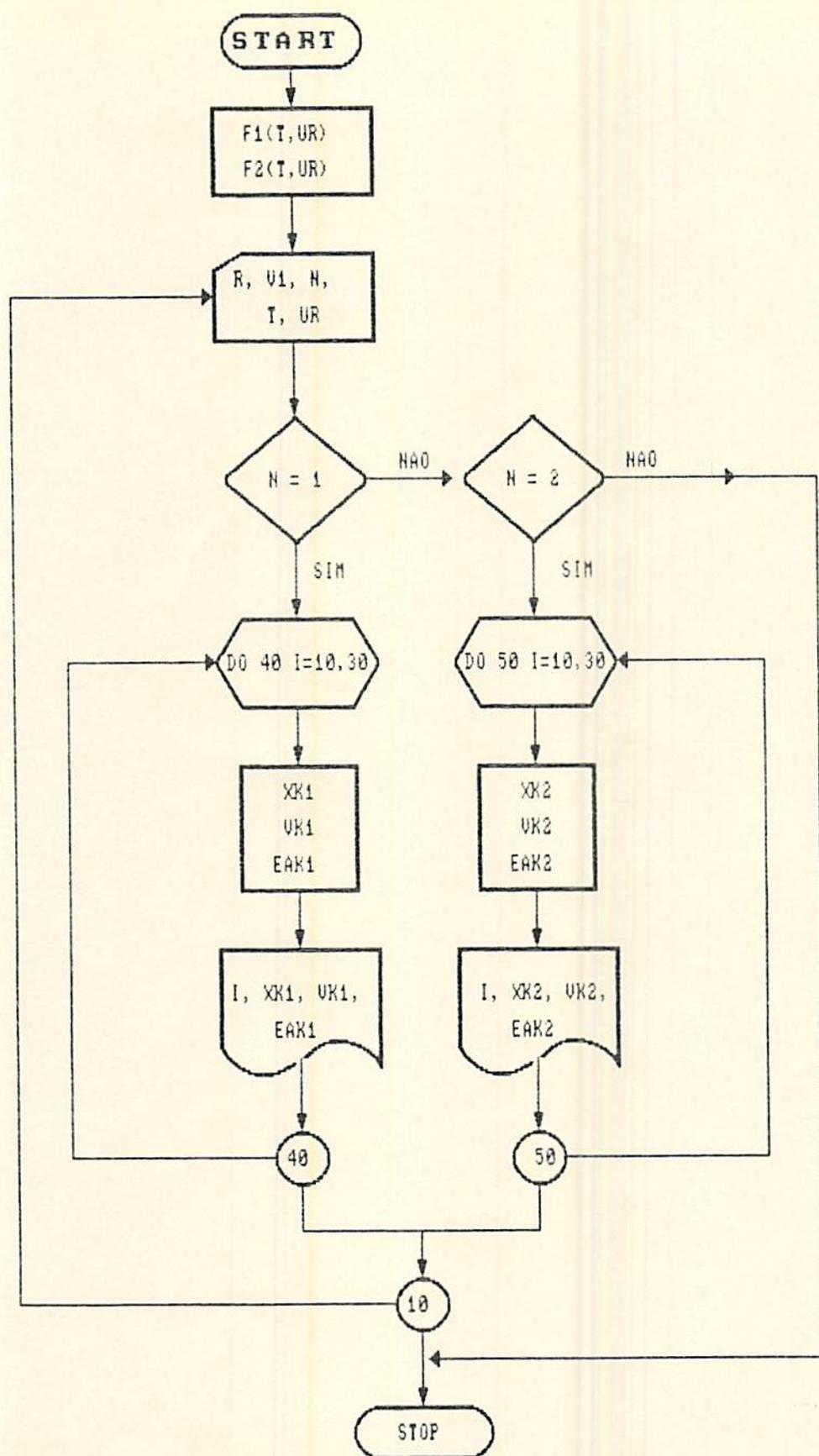
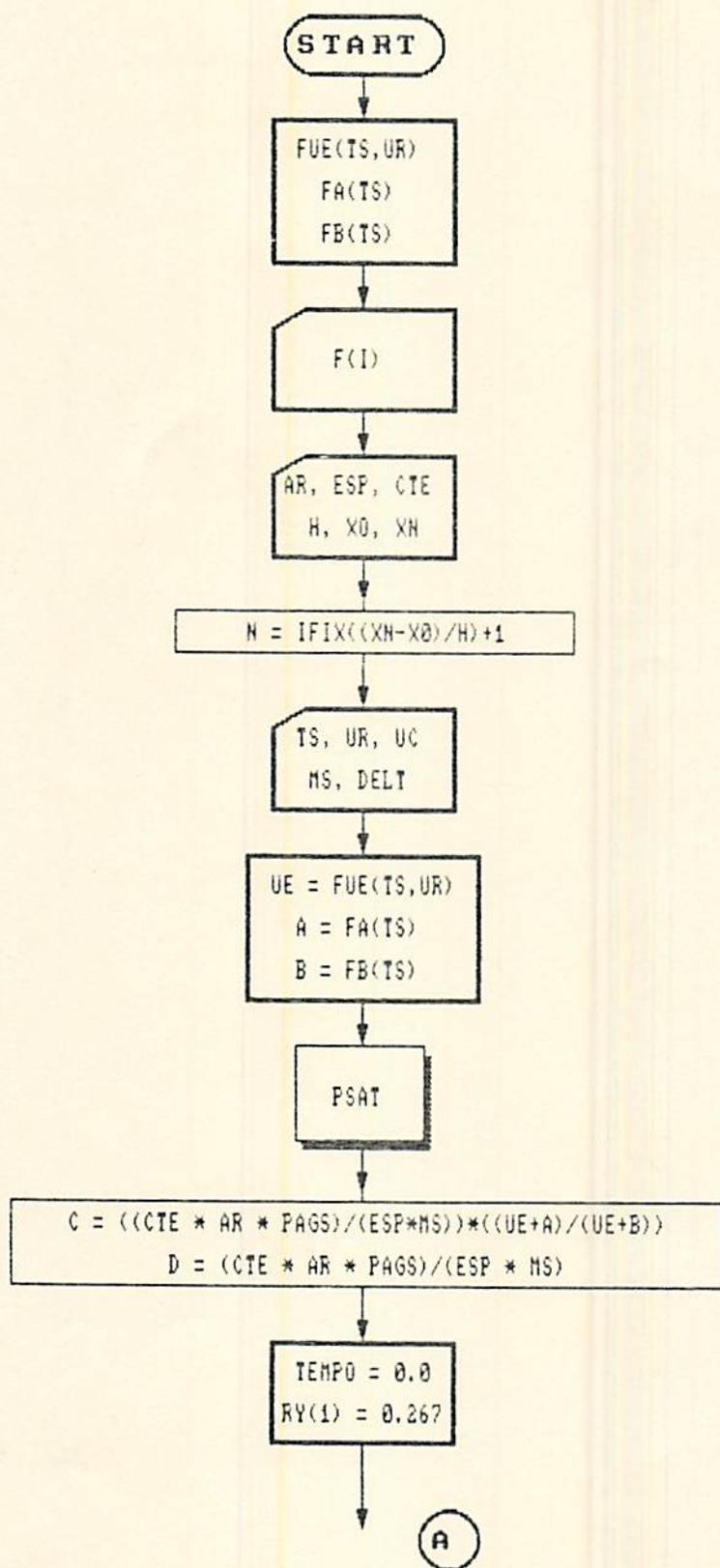


FIGURA 7. Fluxograma do programa desenvolvido em linguagem FORTRAN para estimar o conteúdo de vitamina C total durante o armazenamento de alimentos de umidade intermediária.



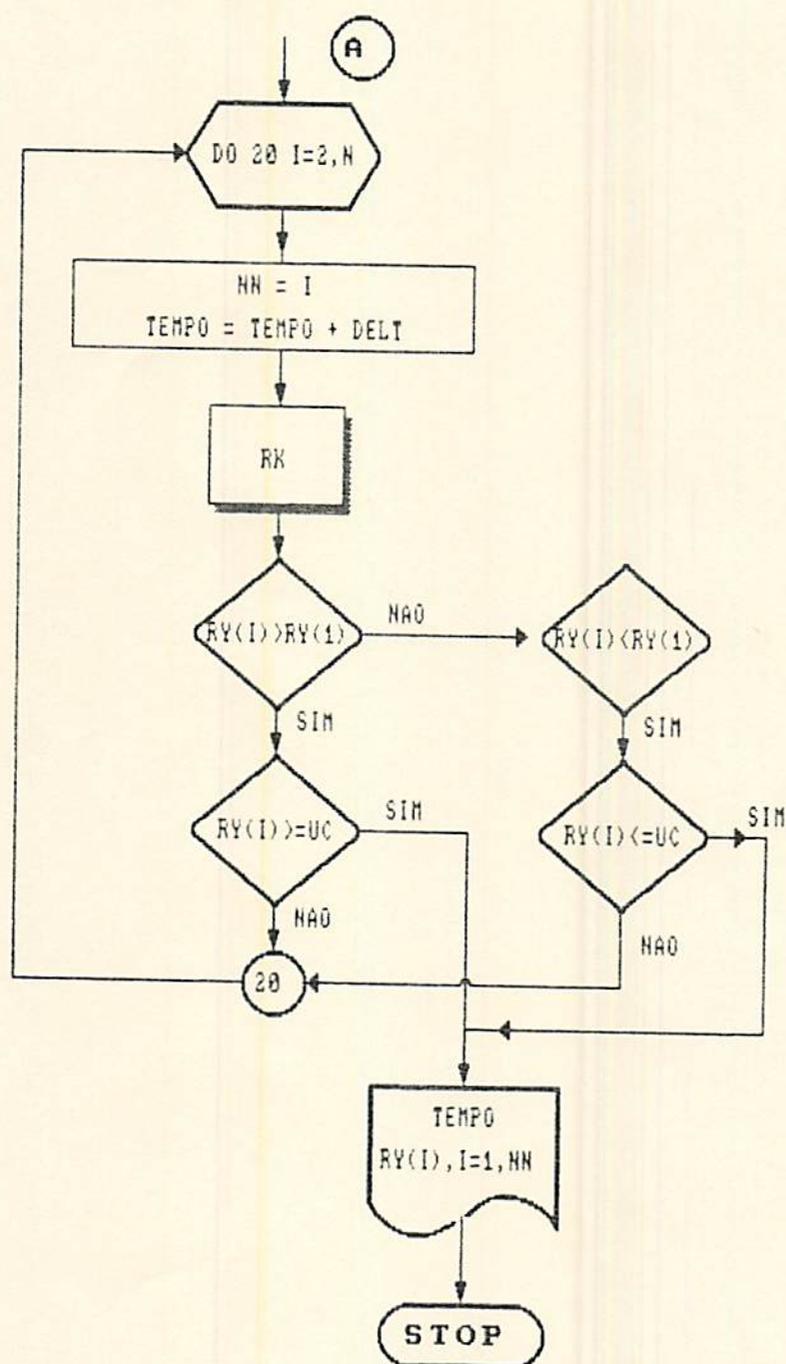


FIGURA 8. Fluxograma do programa desenvolvido em linguagem FORTRAN para estimar a vida de prateleira de alimentos de umidade intermediária.

5 CONCLUSÕES

- 1 - As perdas de vitamina C em alimentos de umidade intermediária, aumentam com aumentos na temperatura e na umidade relativa de armazenamento.
- 2 - A concentração inicial de vitamina C não influi na perda desta, durante o armazenamento de um alimento de umidade intermediária.
- 3 - Pode-se estimar o conteúdo de vitamina C durante o armazenamento de um alimento de umidade intermediária, fazendo uso de um modelo matemático que utiliza como parâmetros a temperatura, a umidade relativa de armazenamento e o conteúdo de vitamina C inicial no alimento.
- 4 - Pode-se estimar a vida de prateleira dos alimentos de umidade intermediária fazendo uso de um modelo matemático que relaciona a sua umidade crítica, as características da embalagem, a umidade de equilíbrio e as condições de armazenamento (temperatura e umidade relativa).

- 5 - Através de simulação dos dados, pelo modelo matemático, pôde-se verificar que a vida de prateleira dos alimentos de umidade intermediária diminui a medida que se aumentam as temperaturas e as umidades relativas de armazenamento.
- 6 - Os melhores ajustes entre os valores experimentais e o modelo matemático de perda de vitamina C foram verificados na temperatura de armazenamento de 27°C, devido a melhor estabilidade da vitamina C em temperaturas ambientes.
- 7 - Os modelos matemáticos desenvolvidos foram aceitáveis dentro do nível de 95% de confiança, confirmando serem bons estimadores das perdas da vitamina C e da vida de prateleira de IMF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAINS, M.S.; RAMASWAMY, H.S.; LO, K.V. Tray drying of apple puree. *Journal of Food Engineering, England*, v.9, p.197-201, Feb. 1989.
- BROCKMAN, M.C. Development of intermediate moisture foods for military use. *Food Technology, Chicago*, v.24, n.7, p.896-900, Aug. 1970.
- BRUNE, W.; BATISTA, C.M.; SILVA, D.O.; FORTES, J.M.; PINHEIRO, R.V.A. Sobre o teor de vitamina C em mirtáceas. *Revista Ceres, Viçosa*, v.13, n.14, p.123-33, Ago/Set. 1966.
- CHUNG, D.S.; CHANG, D.I. Principles of food dehydration. *Journal of Food Protection, Ames*, v.45, n.5, p.475-8, Apr. 1982.
- COLLINS, J.L.; CHEN, C.C.; PARK, J.R.; MUNDT, T.U.; McCARTY, J.E.; JOHNSTON, M.R. Preliminary studies on some properties of intermediate moisture, dup-fried fish fresh. *Journal of Food Science, Chicago*, v.37, n.2, p.189-90, Mar./Apr. 1972.
- CORRY, J.E.L. The safety of intermediate moisture foods with respect to salmonella. In: DAVIES, R.; BIRCH, G.G.; PARKER, K.J. (ed.) *Intermediate Moisture Foods*. London: Applied Science Publication, 1976. p.215-238.
- COSTA, M.C. Vida de Prateleira de Confeitos de Abacaxi (*Ananas comoseos* Merr. L.) Semidesidratado. Lavras: ESAL, 1991. 157p. (Tese-Mestrado em Ciências dos Alimentos).
- CUNNINGHAM, F.E. Practical applications of food dehydration. A review. *Journal of Food Protection, Ames*, v.45, n.5, p.479-83, Abr. 1982.
- ERICKSON, L.E. Recent developments in intermediate moisture foods. *Journal of Food Protection, Ames*, v.45, n.5, p.484-91, Apr. 1982.
- HARRIS, R.S.; KARMAS, E. *Nutritional Evaluation of Food Processing*. 2.ed. Connecticut: The Avi Publishing Company, 1977. 670p.
- HEIDELBAUGH, N.D.; KAREL, M. Stability of low and intermediate moisture foods. In: GOLDBLITH, S.A.; REY, L.; ROTHMAYR, W.W. *Freeze Drying and Advanced Food Technology*. New York: Academic Press, 1975. p.643-674.

- HILL, P.E.; RIZVI, S.S.H. Thermodynamics parameters and storage stability of drum dried peanut flakes. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Switzerland, v.15, p.185, 1982.
- HOLDSWORTH, S.D. Dehidration on of food products. A Review. *Journal of Food Technology*, Oxford, v.6, n.4, p.331-70, Aug. 1971.
- HORWITZ, W. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12 ed. Washington: A.O.A.C. 1975. 1094p.
- HULME, A.C. *The Biochemistry of Fruits and their products*. London: Academic Press, 1970. v.2, 788p.
- KAREL, M. Dehidration of foods. IN: FENNEMA, O.R. *Principles of Food Science; preservation physical principles of food*. New York: Marcel Dekker, 1975. v.4, cap.10, p.309-57.
- KAREL, M. Quantitative analysis of food packaging and storage stability problems. New York, 1972. (Presented at the session on "Advances in food preservation and pakaging", A.I. Ch. in Meeting).
- KAREL, M. Technology and application of new intermediate moisture foods. In: DAVIES, R.; BIRCH, G.G.; PARKER, K.T. (ed.) *Intermediate Moisture Foods*. London: Applied Science Publishers, 1976. p.4-31.
- KUBOTA, E.H. *Cinética de perda d'água e caracterização reológica de uma pasta láctea obtida pela secagem a frio*. Lavras: ESAL, 1985. 94p. (Tese-Mestrado em Ciência dos Alimentos).
- KWOLEK, W.F.; BOOKWALTER, G.N. Predicting storage stability from time-temperature data. *Food Technology*, Chicago, v.25, p.51-57, Oct. 1971.
- LABUZA, T.P.; MIZRAHI, S.; KAREL, M. Mathematical models for optimization of flexible film packaging of foods for storage. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.15, n.1, p.150-155, Jan/Feb. 1972.
- LABUZA, T.P.; TANNENBAUM, S.R.; KAREL, M. Water content and stability of low-moisture and intermediate foods. *Food Technology*, Chicago, v.24, n.5, p.543-550, May 1970.
- LAING, B.M.; SCHLUETER, D.L.; LABUZA, T.P. Degradation kinetics of ascorbic and at high temperature and water activity. *Journal of Food Science*, Chicago, v.43, n.5, p.1440-1443, 1978.
- LEE, K.C. *Vitamin composition of tomato culture and computer simulation of ascorbic acid stability in carred tomato juice*. East Lansing: Michigan State University, 1989, 201p. (PhD - Thesis in Food Science and Human Nutrition).

- LEE, S.H.; LABUZA, T.P. Destruction of ascorbic acid as function of water activity. *Journal of Food Science*, Chicago, v.40, p.370-373, 1975.
- LEVI, A.; GAGEL, S.; JUVEN, B.I. Intermediate moisture tropical Fruit products for developing countries. II. Quality characteristics of papaya. *Journal of Food Technology*, Oxford, v.20, n.2, p.163-175, Apr. 1985.
- LIMA, A.W.O. Predição de vida de prateleira de banana (*Musa cavendish*, Lambert) fertilizada com base na análise cinética de transferência do vapor d'água em filmes flexíveis. Lavras: ESAL, 1981. 143p. (Tese-Mestrado em Ciência dos Alimentos).
- MADARRO, A.; PINAGA, F.; CARBONELL, V.J.; PENA, T.L. Deshidratacion de frutas y hortalizas com aire ambiente. I. Ensayos exploratorios com zabahorias. *Revista Agroquímica de Tecnología de Alimentos*, Espana, v.21, n.4, p.525-531, Abr. 1981.
- MAKINDE, M.A. Nutritional implications of packaging systems. *Separata de Food Product Development*, Set. 1976. (6p).
- MIZRAHI, S.; KAREL, M. Accelerated stability tests of moisture-sensitive products in permeable packages by programming rate of moisture content increase. *Journal of Food Science*, Chicago, v.42, n.4, p.958-963, 1977.
- MIZRAHI, S.; LABUZA, T.P.; KAREL, M. Computer aided predictions of food storage stability: extent of browning in dehydrated cabbage. *Food Technology*, Chicago, v.35, p.799-803, 1970.
- MOREIRA, T.; CARERA, L.; INFANTE, M. Deshidratacion del ajo em forma de hojuelas. Aspectos de interes practico. *Tecnologia Química*, Cuba, v.5, n.1, p.111-122, Jan. 1984.
- NAGY, S.; SHAW, P.E. Tropical and subtropical fruits; Composition, properties and uses. Connecticut: The Avi Publishing Company, 1980. 570p.
- PLITMAN, M.; PARK, Y.; GOMEZ, R.; SINSKEY, A.T. Viability of *staphylococcus aureus* in intermediate moisture meats. *Journal of Food Science*, Chicago, v.32, n.6, p.1004-8, Sept./Oct. 1973.
- PURWADARIA, H.K.; HELDMAN, D.R.; KIRK, J.R. Computer simulation of vitamin degradation in a dry model food system during storage. *Journal of Food Process Engineering*, Westport, v.3, p.7-28, 1979.
- QUAST, D.G.; KAREL, M. Computer simulation of storage life of foods undergoing spoilage by two interacting mechanisms. *Journal of Food Science*, Chicago, v.37, n.5, p.679-683, Sept./Oct. 1972.

- QUAST, D.G.; TEIXEIRA NETO, R.O. Atividade d'água em alguns alimentos de teor intermediário de umidade. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas*, v.6, p.203-232, 1975.
- QUAST, D.G.; TEIXEIRA NETO, R.O. Moisture problems of Foods in tropical climates. *Food Technology*, Chicago, v.30, n.5, p.98-105, May 1976.
- ROCKLAND, L.B. Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5° and 40°C. *Analytical Chemistry*, v.32, n.10, p.1375-1376, Sept. 1960.
- SAKAI, Y.; WATANABE, H.; TAKAI, R.; HASEGAWA, T. A kinetic model for oxidation of ascorbic acid and beta-carotene. *Journal of Processing and Preservation, Connecticut*, v.11, p.197-207, Sept. 1987.
- SINGH, R.K.; LUND, D.B. Kinetics of ascorbic acid degradation in stored intermediate moisture apples. In: MAGNER, M.L.; JELEN, P. *Food Engineering and Process Applications*, New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. v.2.. p.313-321.
- SIMON, I.B.; LABUZA, T.P.; KAREL, M. Computer aided predictions of food storage stability: oxidative deterioration of a shrimp product. *Journal of Food Science, Chicago*, v.36, n.2, p.280-286. Mar./Apr. 1971.
- SMITH, M.C.; HUBER, C.S.; HEIDELBAUGH, N.D. Appollo 14 food system. *Aerospace Medicine, Washington*, v.42, p.1185, 1971.
- SINNAMON, I.; KOMANOWSKY, M.; HEILANP, W.K. An experimental apparatus for drying particular foods in air. *Food Technology, Chicago*, v.22, n.2, p.219-222, Feb. 1968.
- TAOUKIS, D.S.; BREENE, W.M.; LABUZA, T.P. Intermediate moisture foods. *Advances in Cereal Science and Technology, Washington*, v.9, p.91-128, 1988.
- VASQUEZ-SALINAS, C.; LAKSHMINARAYANA, S. *Journal of Food Science, Chicago*, v.50, p.1646-1648, 1985.
- VOJNOVICH, C.; PFEIFER, V.F. Stability of ascorbic acid in blends with wheat flour, CSM, and infant cereals. *Cereal Science Today, St. Paul*, v.15, n.9, p.317, 1970.
- WANNINGER JR., L.A. Mathematical model predicts stability of ascorbic acid in food products. *Food Technology, Chicago*, p.42-45, June 1972.
- WIRAKARTAKUSHMAH, M.A.; SATIAWIHARDJA, B.; SYAH, D. Current research in kinetics of foods quality changes during processing and storage in Indonesia. In: MAGNER, M.L.; JELEN, P. *Food Engineering and Process Applications*, New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. v.2. p.629-639.

APENDICE

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice		Página
A	Programas em FORTRAN	56
B	Análises Estatísticas	62

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice	Página
A Programas em FORTRAN	57
B Análises Estatísticas	58

APÊNDICE A
(Programas em FORTRAN)


```
DO 40 I=10,30,10
  XK1=F1(T,UR)
  VK1=V1*EXP(-XK1*I)
  EAK1=XK1*R
  WRITE(20,*) 'TEMPO=',I
  WRITE(20,*) 'COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDADE =',XK1
  WRITE(20,*) 'CONTEUDO DE VITAMINA C =',VK1
  WRITE(20,*) 'ENERGIA DE ATIVACAO =',EAK1
```

```
40 CONTINUE
```

C
C
C

Utilizando a funcao multipla quadratica para calculo do
coeficiente de proporcionalidade

```
ELSE IF (N.EQ.2) THEN
  DO 50 I=10,30,10
    XK2=F2(T,UR)
    VK2=V1*EXP(-XK2*I)
    EAK2=XK2*R
    WRITE(20,*) 'TEMPO=',I
    WRITE(20,*) 'COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDADE =',XK2
    WRITE(20,*) 'CONTEUDO DE VITAMINA C =',VK2
    WRITE(20,*) 'ENERGIA DE ATIVACAO =',EAK2
```

```
50 CONTINUE
```

```
ENDIF
WRITE(20,*) T,UR
GOTO 10
STOP
END
```

 APENDICE A2

```

C
C PROGRAMA DESENVOLVIDO EM LINGUAGEM FORTRAN PARA ESTIMAR A
C VIDA DE PRATELEIRA DE ALIMENTOS DE UMIDADE INTERMEDIARIA
C EM FUNCAO DO CONTEUDO DE UMIDADE
C
C
C DEFINICAO DAS VARIAVEIS
C
C AR = AREA TOTAL, metro quadrado
C ESP = ESPESSURA DO FILME, cm
C MS = PESO SECO DA AMOSTRA, g
C CTE = CONSTANTE DE PERMEABILIDADE AO VAPOR D'AGUA, g.cm/m2.Pa.dia
C A e B = CONSTANTES DA ISOTERMA DE MIZRAHI
C UE = UMIDADE DE EQUILIBRIO, fracao
C UC = UMIDADE CRITICA DA AMOSTRA, fracao
C DELT = DELTA (etapa de tempo)
C TS = TEMPERATURA, graus celsius
C UR = UMIDADE RELATIVA, fracao
C PABS = PRESSAO DE VAPOR D'AGUA SATURADA, Pa
C RY(1) = CONTEUDO DE UMIDADE INICIAL, fracao base seca
C
C
C CHARACTER *1 L
C COMMON /BLK1/RY(100),TS,H,N
C COMMON /BLK2/F(B)
C COMMON/BLK3/A,B,C,D
C REAL MS
C EXTERNAL FX
C FUE(TS,UR)=-0.1567117-0.2696151E-02*TS+0.9331986*UR
C FA(TS)=-0.03909628*(EXP(-0.02311291*TS))
C FB(TS)=(0.1046961*TS)/(-3.253449+TS)
C OPEN (10,FILE='FUNCAO.I',STATUS='OLD')
C OPEN(20,FILE='DATA1.OUT',STATUS='NEW')
C READ(10,*)(F(I),I=1,8)
C AR = 0.024494
C ESP = 12.0E-04
C CTE =1.3051E-05
10 WRITE(*,*)'DAR H, XO, XN'
C READ(*,*) H,XO,XN
C N = IFIX((XN-XO)/H) + 1
C WRITE(*,*)'DAR VALOR DE T(C),UR(FRACAO),UC,MS(g),DELTA'
C READ(*,*) TS,UR,UC,MS,DELT
C WRITE(*,*)'TS=',TS
C WRITE(*,*)'UR=',UR
C WRITE(*,*)'UC=',UC
C WRITE(*,*)'MS=',MS
C UE = FUE(TS,UR)
C A=FA(TS)

```

```

B=FB(TS)
WRITE(*,*)'UE=',UE
WRITE(*,*)'A=',A
WRITE(*,*)'B=',B
CALL PSAT(TS,PAGS)
WRITE(*,*)'PAGS=',PAGS
C = ((CTE*AR*PAGS)/(ESP*MS))*((UE+A)/(UE+B))
D = (CTE*AR*PAGS)/(ESP*MS)
TEMPO=0.0
RY(1)=0.267866
DO 20 I=2,N
    NN=I
    TEMPO=TEMPO+DELT
    CALL RK(FX,I)
    IF (RY(I).GT.RY(1)) THEN
        IF (RY(I).GE.UC) GOTO 30
    ELSE IF (RY(I).LT.RY(1)) THEN
        IF (RY(I).LE.UC) GOTO 30
    ENDIF
20 CONTINUE
30 WRITE(20,*)'TEMPO=',TEMPO
   WRITE(20,*)(RY(I),I=1,NN)
   WRITE(*,*)'TECLE S PARA CONTINUAR E N PARA SAIR'
   READ(*,40) L
   IF((L .EQ. 'S') .OR. (L .EQ. 's'))GOTO 10
40 FORMAT (A1)
   STOP
   END

```

C
C
C Subrotina PAGS para calculo da pressao de vapor d'agua
C saturada
C

```

SUBROUTINE PSAT(TS,PAGS)
COMMON /BLK2/F(8)
SOMA=0.0
TA=TS+273.15
DO 50 I=1,8
    SOMA = SOMA + F(I)*((0.65-0.01*TS)**(I-1))
50 CONTINUE
W = (0.01/TA)*(374.136-TS)*SOMA
PAGS = 22087836.75*EXP(W)
RETURN
END

```

C
C
C Subrotina RK para calcular a taxa de transferencia de umidade,
C utilizando o metodo Runge-Kutta para solucao da equacao
C diferencial de primeira ordem
C

```

SUBROUTINE RK(FX,J)
COMMON /BLK1/RY(100),TS,H,N
RA = H*FX (RY(J-1))
RB = H*FX(RY(J-1)+(RA/2.0))
RC = H*FX(RY(J-1)+(RB/2.0))

```

```
RD = H*FX(RY(J-1)+RC)
RY(J) = RY(J-1)+(RA+2.0*RB+2.0*RC+RD)/6.0
RETURN
END
```

C
C

```
FUNCTION FX(U)
COMMON/BLK3/A,B,C,D
FX = C-D *((U+A)/(U+B))
RETURN
END
```

APÉNDICE B
(Análises Estatísticas)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE VITAMINA C TOTAL DURANTE O
PERÍODO DE ARMAZENAMENTO

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DE VARIÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F.	PROB.>F
DIAS	2	8585.2180071	4292.6090035	97.3666	0.00001
TEMPER	2	44299.5004892	22149.7502446	502.4090	0.00001
UR	2	2345.6735986	1172.6735986	26.5990	0.00001
DIA*TEM	4	269.4646438	67.3661609	1.5280	0.20611
DIA*UR	4	434.0097072	108.5024268	2.4611	0.05538
TEM*UR	4	1053.1903644	263.2975911	5.9722	0.00071
DIA*TEM*UR	8	1522.5973570	190.3246696	4.3170	0.00067
RESÍDUO	54	2380.7026250	44.0870856		
TOTAL	80	60890.0303908			

Média Geral = 77.598373

Coefficiente de variação = 8.557%

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	27	90.459340	90.459340	a	A
2	2	20 DIAS	27	77.078240	77.078240	b	B
3	3	30 DIAS	27	65.257536	65.257536	c	C

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 4.35996 - D.M.S. 1% = 5.50362

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	9	81.055790	81.055790	a	A
2	2	20 DIAS	9	69.074599	69.074599	b	B
3	3	30 DIAS	9	59.906254	59.906254	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	9	93.108197	93.108197	a	A
2	2	20 DIAS	9	83.994444	83.994444	b	B
3	3	30 DIAS	9	65.512500	65.512500	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	9	97.214033	97.214033	a	A
2	2	20 DIAS	9	78.165678	78.165678	b	B
3	3	30 DIAS	9	70.353853	70.353853	c	C

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 7.55168 - D.M.S. 1% = 9.53255

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 10°C DO FATOR TEMPER E 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	103.430400	103.430400	a	A
2	2	20 DIAS	3	98.135895	98.135895	a	A
3	3	30 DIAS	3	97.273865	97.273865	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 10°C DO FATOR TEMPER E 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	114.817424	114.817424	a	A
2	2	20 DIAS	3	104.928406	104.928406	a	AB
3	3	30 DIAS	3	88.860168	88.860168	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 10°C DO FATOR TEMPER E 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	115.704936	115.704936	a	A
2	2	20 DIAS	3	96.286001	96.286001	b	B
3	3	30 DIAS	3	90.093730	90.093730	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 27°C DO FATOR TEMPER E 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	90.385437	90.385437	a	A
2	2	20 DIAS	3	76.996602	76.996602	b	A
3	3	30 DIAS	3	50.746033	50.746033	c	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 27°C DO FATOR TEMPER E 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	102.950633	102.950633	a	A
2	2	20 DIAS	3	88.372864	88.372864	b	AB
3	3	30 DIAS	3	80.422468	80.421468	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 27°C DO FATOR TEMPER E 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	104.886902	104.886902	a	A
2	2	20 DIAS	3	93.894267	93.894267	ab	AB
3	3	30 DIAS	3	85.851695	85.851695	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 42°C DO FATOR TEMPER E 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	49.351532	49.351532	a	A
2	2	20 DIAS	3	32.091298	32.091298	b	B
3	3	30 DIAS	3	31.698865	31.698865	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 42°C DO FATOR TEMPER E 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	61.556534	61.556534	a	A
2	2	20 DIAS	3	58.682063	58.682063	a	A
3	3	30 DIAS	3	27.255864	27.255864	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 42°C DO FATOR TEMPER E 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 DIAS	3	71.050262	71.050262	a	A
2	2	20 DIAS	3	44.316767	44.316767	b	B
3	3	30 DIAS	3	35.116135	35.116135	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 13.07989 - D.M.S. 1% = 16.51087

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	27	101.058980	101.058980	a	A
2	2	27 C	27	86.056211	86.056211	b	B
3	3	42 C	27	45.679925	45.679925	c	C

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 4.35996 - D.M.S. 1% = 5.50362

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	9	99.613386	99.613386	a	A
2	2	27 C	9	72.709357	72.709357	b	B
3	3	42 C	9	37.713899	37.713899	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	9	102.868666	102.868666	a	A
2	2	27 C	9	90.581655	90.581655	b	B
3	3	42 C	9	49.164820	49.164820	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	9	100.694889	100.694889	a	A
2	2	27 C	9	94.877621	94.877621	a	A
3	3	42 C	9	50.161055	50.161055	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 7.55168 - D.M.S. 1% = 9.53255

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS E 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	103.430400	103.430400	a	A
2	2	27 C	3	90.385437	90.385437	a	A
3	3	42 C	3	49.351532	49.351532	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS E 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	114.817424	114.817424	a	A
2	2	27 C	3	102.950633	102.950633	a	A
3	3	42 C	3	61.556534	61.556534	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS E 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	115.704936	115.704936	a	A
2	2	27 C	3	104.886902	104.886902	a	A
3	3	42 C	3	71.050262	71.050262	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS E 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	98.135895	98.135895	a	A
2	2	27 C	3	76.996602	76.996602	b	B
3	3	42 C	3	32.091298	32.091298	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS E 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	104.928406	104.928406	a	A
2	2	27 C	3	88.372864	88.372864	b	B
3	3	42 C	3	58.682063	58.682063	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS E 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	96.286001	96.286001	a	A
2	2	27 C	3	93.894267	93.894267	a	A
3	3	42 C	3	44.316767	44.316767	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS E 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	97.273865	97.273865	a	A
2	2	27 C	3	50.746033	50.746033	b	B
3	3	42 C	3	31.698865	31.698865	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS E 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	88.860168	88.860168	a	A
2	2	27 C	3	80.421468	80.421468	a	A
3	3	42 C	3	27.255864	27.255864	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE TEMPER
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS E 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	3	90.093730	90.093730	a	A
2	2	27 C	3	85.851695	85.851695	a	A
3	3	42 C	3	35.116135	35.116135	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 13.07989 - D.M.S. 1% = 16.51087

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	27	81.911188	81.911188	a	A
2	2	43%	27	80.871714	80.871714	a	A
3	1	75%	27	70.012214	70.012214	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 4.35996 - D.M.S. 1% = 5.50362

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	9	97.214033	97.214033	a	A
2	2	43%	9	93.108197	93.108197	a	A
3	1	75%	9	81.055790	81.055790	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	43%	9	83.994444	83.994444	a	A
2	2	32%	9	78.165678	78.165678	a	AB
3	1	75%	9	69.074599	69.074599	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	9	70.353853	70.353853	a	A
2	2	43%	9	65.512500	65.512500	ab	AB
3	1	75%	9	59.906254	59.906254	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 7.55168 - D.M.S. 1% = 9.53255

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 10°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	43%	9	102.868666	102.868666	a	A
2	3	32%	9	100.694889	100.694889	a	A
3	1	75%	9	99.613386	99.613386	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 27°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	9	94.877621	94.877621	a	A
2	2	43%	9	90.581655	90.581655	a	A
3	1	75%	9	72.709357	72.709357	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 42°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	9	50.161055	50.161055	a	A
2	2	43%	9	49.164820	49.164820	a	A
3	1	75%	9	37.713899	37.713899	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 7.55168 - D.M.S. 1% = 9.53255

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS E 10°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	3	115.704936	115.704936	a	A
2	2	43%	3	114.817424	114.817424	a	A
3	1	75%	3	103.430400	103.430400	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS E 27°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	3	104.886902	104.886902	a	A
2	2	43%	3	102.950633	102.950633	ab	A
3	1	75%	3	90.385437	90.385437	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 10 DIAS DO FATOR DIAS E 42°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	3	71.050262	71.050262	a	A
2	2	43%	3	61.556534	61.556534	ab	AB
3	1	75%	3	49.351532	49.351532	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS E 10°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	32%	3	104.928406	104.928406	a	A
2	1	75%	3	98.135895	98.135895	a	A
3	3	32%	3	96.286001	96.286001	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS E 27°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	3	93.894267	93.894267	a	A
2	2	43%	3	88.372864	88.372864	ab	AB
3	1	75%	3	76.996602	76.996602	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 20 DIAS DO FATOR DIAS E 42°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	43%	3	58.682063	58.682063	a	A
2	3	32%	3	44.316767	44.316767	b	AB
3	1	75%	3	32.091298	32.091298	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS E 10°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	75%	3	97.273865	97.273865	a	A
2	3	32%	3	90.093730	90.093730	a	A
3	2	43%	3	88.860168	88.860168	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS E 27°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	3	85.851695	85.851695	a	A
2	2	43%	3	80.421468	80.421468	a	A
3	1	75%	3	50.746033	50.746033	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 30 DIAS DO FATOR DIAS E 42°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	32%	3	35.116135	35.116135	a	A
2	1	75%	3	31.698865	31.698865	a	A
3	2	43%	3	27.255864	27.255864	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 13.07989 - D.M.S. 1% = 16.51087

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE CONTEÚDO DE UMIDADE DURANTE
O PERÍODO DE ARMAZENAMENTO

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DE VARIÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F.	PROB.>F
DIAS	2	0.0073294	0.0036647	0.7523	0.51968
TEMPER	2	0.0126009	0.0063004	1.2933	0.28213
UR	2	0.6795056	0.3397528	69.7440	0.00001
DIA*TEM	4	0.0159691	0.0039923	0.8195	0.52029
DIA*UR	4	0.0209846	0.0052461	1.0769	0.37744
TEM*UR	4	0.1539312	0.0384828	7.8997	0.00013
DIA*TEM*UR	8	0.0117979	0.0014747	0.3027	0.96130
RESÍDUO	54	0.2630572	0.0048714		
TOTAL	80	1.1651757			

Média Geral = 0.226926

Coefficiente de variação = 30.757%

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 75% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	42 C	9	0.424787	0.424787	a	A
2	1	10 C	9	0.361171	0.361171	ab	AB
3	2	27 C	9	0.283255	0.283255	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 43% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	10 C	9	0.187536	0.187536	a	A
2	2	27 C	9	0.158615	0.158615	a	A
3	3	42 C	9	0.130974	0.130974	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE DIAS
DENTRO DE 32% DO FATOR UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	27 C	9	0.211522	0.211522	a	A
2	1	10 C	9	0.184976	0.184976	a	AB
3	3	42 C	9	0.099494	0.099494	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 0.07938 - D.M.S. 1% = 0.10020

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	75%	27	0.356404	0.356404	a	A
2	3	32%	27	0.165331	0.165331	b	B
3	2	43%	27	0.159042	0.159042	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 0.04583 - D.M.S. 1% = 0.05785

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UR
DENTRO DE 10°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	75%	9	0.361171	0.361171	a	A
2	2	43%	9	0.187536	0.187536	b	B
3	3	32%	9	0.184976	0.184976	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 27°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	75%	9	0.283255	0.283255	a	A
2	3	32%	9	0.211522	0.211522	ab	AB
3	1	43%	9	0.158615	0.158615	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS UR
DENTRO DE 42°C DO FATOR TEMPER

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	75%	9	0.424787	0.424787	a	A
2	2	43%	9	0.130974	0.130974	b	B
3	3	32%	9	0.099494	0.099494	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 0.07938 - D.M.S. 1% = 0.10020

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

VITC -

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES	81
SOMA DE TODOS OS DADOS	6265.468000
SOMA DE QUADRADOS	547021.800000
SOMA DE QUADRADOS CORRIGIDA	62378.710000
MÉDIA GERAL	77.351460
PROBABILIDADE MÉDIA = 0000100
VARIÂNCIA	779.733800
DESVIO PADRÃO	27.923710
ERRO PADRÃO	3.102635
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	36.099790
MÁXIMO	130.203300
MÍNIMO	23.807200
AMPLITUDE	106.396100
ASSIMETRIA	-.450754
PROBABILIDADE ASSIMETRIA = 0452058
CURTOSE	1.958377
PROBABILIDADE CURTOSE = 3290934
INTERVALO DE CONFIANÇA P(0.05)	6.174243
AMOSTRA IDEAL (10%)	51.607830

$$IC = (23,8072 < U < 130,2033) = 95\%$$

$$R^2 = 0,7613$$

Teste de hipótese

$$H_0 = p = 0$$

$$t_c = \frac{R \cdot p}{\sqrt{1 - R^2}} \cdot \sqrt{n - 2}$$

$$t_c = 9,45$$

$$t_c > T_{tab}$$