

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS DE DEGRADAÇÃO DA VITAMINA C EM SUCO DE LARANJA

DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS OF VITAMIN C DEGRADATION IN ORANGE JUICE

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE DEGRADACIÓN DE LA VITAMINA C EN SUCO DE NARANJA

Nayara Carla da Fonseca¹
Paula Garcia da Costa Petean²

Resumo: A vitamina C é extremamente importante por ser um potente antioxidante, evita o envelhecimento precoce, combate infecções, e ainda ajuda na absorção do ferro. A sua quantidade nos alimentos indica a qualidade nutricional e o estado de conservação dos mesmos. Buscou-se nesse estudo determinar a cinética de degradação da vitamina C em sucos de laranja. A velocidade de degradação do ácido ascórbico foi dependente da temperatura e a energia de ativação média foi de 45 kJ.mol⁻¹.

Palavras-chave: Suco de laranja. Vitamina C. Cinética de degradação.

Abstract Vitamin C is extremely important it a potent antioxidant, prevents premature aging, fights infections, and even helps iron absorption. The amount in the food indicates the nutritional quality and the state of conservation of the same. The aim of this study was to determine the kinetics of degradation of vitamin C in orange juice. The rate of degradation of ascorbic acid was temperature dependent and the mean activation energy was 45 kJ.mol⁻¹.

Keywords: Orange juice. Vitamin C. Degradation kinetics.

Resumen: La vitamina C es extremadamente importante por ser un potente antioxidante, evita el envejecimiento precoz, combate las infecciones, y ayuda a absorber el hierro. La cantidad en alimentos indica la calidad nutricional y el estado de conservación de los mismos. El objetivo de este estudio fue determinar la cinética de degradación de la vitamina C en jugos de naranja. La velocidad de degradación del ácido ascórbico fue dependiente de la temperatura y la energía de activación media fue de 45 kJ.mol⁻¹.

Palabras-clave: Jugo de naranja. Vitamina C. Cinética de degradación.

Envio 02/05/2017

Revisão 14/05/2017

Aceite 21/07/2017

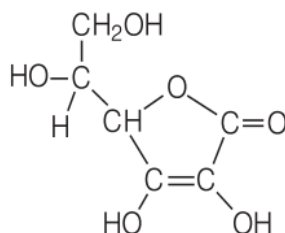
¹ Técnica em Química. Instituto Federal de São Paulo - Campus Sertãozinho. nahfonseca99@hotmail.com

² Doutora em Engenharia Química. Instituto Federal de São Paulo - Campus Sertãozinho. paulapetean@ifsp.edu.br

Introdução

As vitaminas são substâncias orgânicas que o organismo não consegue produzir. Necessárias em pequenas quantidades e obtidas através de uma alimentação balanceada, elas são essenciais, pois atuam em conjunto com algumas enzimas, controlando atividades das células e diversas funções do corpo. A vitamina C por corresponder ao grupo das vitaminas hidrossolúveis, possui alta solubilidade em água e não se armazena no corpo por um longo período de tempo, sendo eliminada através da urina. Por este motivo, é importante sua administração diária, uma vez que sua reserva se esgota mais rapidamente do que as outras (Fiorucci et al., 2003; Aranha et al., 2000). Esta é conhecida também como ácido ascórbico e possui fórmula química $C_6H_8O_6$, cuja estrutura pode ser observada na Figura 1.

Figura 1. Estrutura do Ácido Ascórbico



Fonte: Fiorucci et al., 2003

A vitamina C é essencial na participação da síntese das proteínas, colágeno e elastina. É importante na defesa do organismo contra infecções e fundamental na integridade das paredes dos vasos sanguíneos e para a formação das fibras colágenas existentes em praticamente todos os tecidos do corpo humano (derme, cartilagem e ossos). O ácido ascórbico é um poderoso antioxidante, reciclando a atividade da vitamina E que protege as membranas celulares, impedindo a oxidação dos ácidos graxos polinsaturados, constituintes dos fosfolipídios destas membranas; participa do sistema imunológico, protegendo as células e tecidos contra os mecanismos de ataque dos patógenos; facilita a absorção de minerais, tais como o ferro, zinco e cobre; auxilia na excreção do chumbo, mercúrio, vanádio, cádmio e níquel. A vitamina C é muito importante também na formação de aminas aromáticas, tais como a dopamina e a serotonina, que atuam como neurotransmissores; nos processos de cicatrização dos tecidos; na

redução do ferro férrico a ferroso, no intestino delgado, facilitando a sua absorção e transporte para a corrente sanguínea (Milanesio et al. 1997; Moser e Bendich, 1991).

O ácido ascórbico é uma substância de cor branca, estável em sua forma seca, porém se oxida com facilidade em solução aquosa. A excepcional facilidade com que essa vitamina é oxidada faz com que ela funcione como um bom agente oxidante: um composto que pode proteger outras espécies químicas de possíveis oxidações, devido ao seu sacrifício (Vieira et al., 2000).

A sua estrutura foi elucidada em 1932 e 1933, por Haworth, Hirst e colaboradores (Bobbio, 1992). Entretanto, foram as pesquisas do cientista Linus Pauling, ganhador do Prêmio Nobel de química, que popularizaram a vitamina C. Pauling recomendava megadoses da vitamina C para o combate de resfriados, gripes e outras viroses, bem como na prevenção do câncer de cólon e de doenças degenerativas. Há alguma evidência para esse efeito; entretanto, estudos têm mostrado que doses altas não diminuem o número de resfriados (Fiorucci et al., 2003).

As principais fontes de vitamina C estão no reino vegetal como por exemplo: vegetais folhosos (brócolis, couve, nabo, folhas de mandioca e inhame), legumes (pimentões amarelos e vermelhos) e frutas (caju, goiaba, manga, laranja, acerola etc.). Em pequenas quantidades, de 0 a 40 mg/100g, a vitamina C pode ser encontrada em fígado e rins, em carnes bovinas, suínas e de peixes, e no leite de vaca. Em geral, consideram-se de importância apenas as fontes vegetais (Moser e Bendich, 1991).

O ser humano e outros animais, como o macaco, alguns pássaros e alguns peixes, não conseguem sintetizar a vitamina C. Dessa forma, a produção de suco de frutas de laranja, manga, acerola, caju vem sendo estimulada, como fontes para se adquirir esta vitamina, já que sua deficiência no organismo leva à síntese defeituosa do tecido colagenoso e à doença escorbuto (Silva et al. 1995).

O suco de laranja é um líquido límpido ou turvo, extraído do fruto da laranjeira (*Citrus sinensis*), constitui um produto complexo, formado por uma "mistura" aquosa de vários componentes orgânicos voláteis e instáveis, responsáveis pelo seu sabor e aroma, além de açúcares, ácidos, sais minerais, vitaminas e pigmentos (Correa Neto e Faria, 1999). O grande consumo de suco de laranja tanto no Brasil como no mercado internacional justifica-se pelo baixo custo de produção, ótima aceitabilidade e o aumento da conscientização das pessoas sobre

as propriedades nutricionais das frutas. Contudo, durante a produção de sucos de fruta e ao longo de sua vida-de-prateleira pode ocorrer a degradação do ácido ascórbico (Danieli et al., 2009).

Segundo Correa Neto e Faria (1999) a vida-de-prateleira do suco de laranja pode ser influenciada por diversos fatores, tais como: o tipo de processamento, as condições de estocagem, o tipo de embalagem, a presença de oxigênio, de luz e de enzimas. Dentre estes fatores, a temperatura é geralmente o mais determinante, pois pode acelerar a oxidação de certos nutrientes, e alterar as propriedades nutritivas e sensoriais dos produtos.

A vitamina C poderá perder parte de sua atividade, devido às reações químicas e bioquímicas ocasionadas durante os processos de extração e processamento do suco de laranja e também devido às condições de envase e estocagem destes (Alves, 2004).

Os métodos de conservação de alimentos têm por objetivo oferecer aos consumidores produtos alimentícios de qualidade nutritiva que mantenha suas características organolépticas e que sejam livres de microrganismos nocivos e de suas toxinas (Nespolo et al., 2015).

Segundo Gava (2008) o tratamento térmico é um dos métodos mais empregados para o processamento e a conservação de alimentos, pois é responsável pela inativação das enzimas, pela diminuição da carga microbiana e pela destruição das bactérias patogênicas. A pasteurização é um tratamento térmico que elimina a grande maioria dos microrganismos existentes no alimento. O método da pasteurização leva este nome em homenagem a Louis Pasteur, o primeiro a perceber que havia a possibilidade de inativação de microrganismos deterioradores em vinho por meio da aplicação de calor.

Os tempos e as temperaturas de pasteurização dependem do método e do produto a ser tratado. Existem duas modalidades de pasteurização:

- pasteurização lenta, na qual utiliza-se temperaturas menores durante maior intervalo de tempo. Este tipo é melhor para pequenas quantidades de leite, por exemplo, o leite de cabra. A temperatura utilizada é de 65°C durante trinta minutos, LTLT (low Temperature and Long Time), baixa temperatura e longo tempo.
- pasteurização rápida, na qual utiliza-se altas temperaturas durante curtos intervalos de tempo. A temperatura utilizada é de 75°C durante 15 a 20 segundos, na literatura, frequentemente encontra-se este tipo de pasteurização com a denominação HTST (High Temperature and Short Time), alta temperatura e curto tempo (Ordóñez, 2007).

Emprega-se a pasteurização quando os tratamentos térmicos mais elevados podem interferir na característica sensorial do produto (leite, suco); quando os agentes microbianos de alteração não são muito termo resistente, como as leveduras nos sucos de frutas, e quando destruímos os agentes competitivos, permitindo uma fermentação benéfica, que geralmente se realiza pela adição de um inóculo (fermento), como na elaboração de queijos. Geralmente completa-se o processo de pasteurização com um outro método, como a refrigeração (no caso do leite); adicionando altas concentrações de açúcar (leite condensado); criando condições anaeróbicas pelo fechamento de recipientes a vácuo etc. (Gava, 2008).

Em alimentos de baixa acidez, com pH maior que 4,5, como o leite, a pasteurização é utilizada para minimizar possíveis riscos à saúde devido à possível contaminação por microrganismos patogênicos, como os causadores da brucelose e tuberculose, e para aumentar a vida de prateleira por alguns dias. No caso de produtos ácidos ($\text{pH} < 4,5$) como sucos de frutas, objetiva-se eliminar microrganismos deteriorantes (nesse caso, bolores e leveduras) (Nespolo et al., 2015).

Cinética química estuda a velocidade e os mecanismos das reações químicas e quais os fatores que influenciam essa velocidade, além de descreve as características dessas reações na forma de modelos matemáticos (Maia, 2007). Durante o processo térmico e o armazenamento de alimentos, diversas transformações, desejáveis e indesejáveis podem ocorrer. O conhecimento das reações que podem ocorrer no alimento a ser processado é imprescindível para a melhoria de processos térmicos e para a determinação da vida-de-prateleira do alimento processado, bem como as condições ideais de armazenamento. Todas essas reações, desejáveis ou indesejáveis, podem ser representadas matematicamente. Os padrões de ordem zero ou de primeira ordem descrevem a maioria das alterações observadas em alimentos (Teixeira et al., 1996).

Alguns trabalhos científicos relatam perdas do ácido ascórbico durante o processamento térmico de sucos de frutas, seja na pasteurização ou esterilização. (Polydera et al., 2005; Silva et al., 1995; Danieli et al., 2009). A degradação da vitamina C foi observada em vários trabalhos encontrados na literatura como sendo de primeira ordem, (Vieira, 2000; Castro et al., 2004; Vilkrum et al., 2005; Alves et al., 2010) conforme representada na equação (1).

$$\frac{d[C]}{[C]} = kdt \quad (1)$$

onde C é a concentração da vitamina C no tempo t e k é a constante de velocidade da reação de primeira ordem. A equação (1) leva à equação integrada de velocidade:

$$\ln[C]_t = kt + \ln[C]_0 \quad (2)$$

onde C₀ é a concentração inicial de vitamina C e k é a inclinação da reta.

A relação entre k e T é conhecida como equação de Arrhenius e está representada na equação (3).

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (3)$$

Nessa equação, k é a constante de velocidade, E_a é a energia de ativação, R é a constante universal dos gases (8,35 JK⁻¹mol⁻¹) e T é a temperatura absoluta. O fator de frequência, A é constante, ou quase constante, à medida que a temperatura varia. Ele está relacionado com a frequência das colisões e a probabilidade com que as colisões são orientadas de maneira favorável (Maia, 2007). A equação (3) é de grande utilidade, pois a partir de dados cinéticos experimentais, é possível determinar a energia de ativação de uma reação. Aplicando o logaritmo a equação (3) ela pode ser escrita como na equação (4).

$$\ln k = \frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (4)$$

Conhecendo a constante de velocidade k₁ e k₂ em duas temperaturas (T₁ e T₂), para cada condição, tem-se:

$$\ln k_1 = \frac{E_a}{RT_1} + \ln A \quad \ln k_2 = \frac{E_a}{RT_2} + \ln A$$

Subtraindo k₂ de k₁ e reorganizando-a, obtém-se a equação (5).

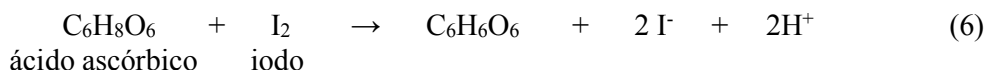
$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (5)$$

O ácido ascórbico é um importante indicador, pois sendo a vitamina mais termolábil, sua presença no alimento, indica que, provavelmente, os demais nutrientes também estão sendo preservados (Bender, 1978; Özkan et al., 2004). No entanto sua estabilidade é muito questionável devido ao seu grande potencial de oxidação, o que remete a pensar que sua degradação é muito rápida. Estudos sobre a cinética de degradação da vitamina C fornece informações sobre a degradação ao longo da armazenagem e permite assim estimar o teor desta

vitamina ao fim da vida de prateleira do produto e então adequá-la a sua rotulagem. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar os parâmetros cinéticos de degradação da vitamina C em suco de laranja *in natura* e pasteurizado considerando os fatores temperatura e concentração.

Materiais e métodos

Existem vários métodos para quantificar vitamina C sendo os métodos espectrofotométricos os mais utilizados. Na indústria alimentícia, o método de Tillmans é o mais utilizado, no entanto, apresenta ponto de viragem de difícil visualização em amostras coloridas, o que dificulta sua aplicação para diversos sucos de frutas (Cunha et al., 2014). O método utilizado neste trabalho foi o da titulação por oxi-redução utilizando iodo (iodometria), por ser uma técnica de fácil acesso. Essa metodologia, apresentada por Romero et al. (2005), baseia-se na conversão de iodo molecular em íon iodeto, de acordo com as seguintes equações:



Através das equações (6) e (7) é possível observar que um mol de ácido ascórbico reage com um mol de iodo e quando todo ácido ascórbico presente na amostra é consumido a primeira gota a mais de iodo que cai na solução reage com o íon iodeto formado na equação 6 produzindo o íon triiodeto, que reage com o amido formando um composto azul escuro, conforme mostrado na equação 7. Desta forma, a mudança de cor definitiva da solução indica que todo o ácido ascórbico presente na amostra foi consumido pela solução de iodo.

Os experimentos foram realizados no laboratório de Química do Instituto Federal de São Paulo - Campus Sertãozinho. Os materiais utilizados nos experimentos estão descritos a seguir: comprimido de vitamina C Cewin 500mg, Sanofi Aventis; tintura de iodo a 2% ADV (Comercial); álcool etanol 96 °GL; amido de milho solúvel Maisena adquirido em supermercado; suco de laranja lima (*Citrus sinensis* L.Osbeck) *in natura* e suco de laranja pasteurizado da marca Natura Citrus, líquido e pronto para beber, adquiridos em mercado do município de Sertãozinho SP.

Inicialmente fez-se o preparo da solução de amido 1% em um becker com 500 mL de água destilada a 50°C e 5 g de amido de milho. Em seguida foi preparada a solução padrão de vitamina C em um balão volumétrico de 500mL onde dissolveu-se em água destilada um comprimido de 500mg desta vitamina. Preparou-se também a solução de iodo 1% m/v misturando-se e em um becker 30 mL de solução de iodo comercial a 2% e 30 mL de álcool 96 °GL.

Utilizando a titulação iodométrica, colocou-se em uma bureta de 50mL da solução de iodo 1%, adicionou-se três gotas do indicador amido e pingou-se gota a gota em um erlenmeyer contendo a 25 mL da solução-padrão de vitamina C de concentração conhecida até que toda a vitamina C fosse consumida e aparecesse uma coloração azul. Anotou-se o volume gasto nesta titulação. Essa solução foi utilizada como solução-padrão e serviu de base para verificar o teor de ácido ascórbico nas amostras a serem analisadas.

Em seguida esse procedimento foi realizado com amostras de suco *in natura* de laranja lima. A extração do suco foi feita manualmente por esmagamento das frutas e em seguida dividiu-se em dois recipientes, mantendo uma amostra em um refrigerado com temperatura de 5°C e o outro à temperatura ambiente de $25 \pm 5^\circ\text{C}$, que foi mantida sobre a bancada no laboratório. Outra amostra analisada foi de suco de laranja pasteurizado que foi mantida na temperatura de 5°C. Todas as amostras foram analisadas durante três dias, utilizando o método da titulação iodométrica, para verificar a degradação da vitamina C nos sucos de laranja.

53

Resultados e discussões

Após a extração do suco das laranjas foi realizada determinação do teor inicial de vitamina C nas amostras que foram utilizada neste estudo. Para o cálculo do teor de vitamina C nos sucos testados utilizou-se o volume de iodo gasto para reagir com os 25,00 mL da solução padrão da vitamina C (500mg em 500 mL).

O valor encontrado nesta análise foi de 52,8 mg vitC/100 mL de suco, valor esse maior que o encontrado na tabela NEPA-UNICAMP (2006), que foi de 41,3 mg vitC/100mL de suco. Essas variações podem ocorrer devido aos diferentes locais de cultivos, ano de produção, além do grau de maturação da fruta. Desta forma, o produto pode ser caracterizado como uma boa

fonte de vitamina C, uma vez que no Brasil, segundo a Resolução RDC nº 269, a ingestão diária recomendada para adultos é de 45 mg/dia.

Inicialmente as determinações de vitamina C foram realizadas em períodos de duas horas para a amostras de suco de laranja *in natura* na temperatura de 5 e 25°C e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de vitamina C na amostra de suco de laranja *in natura* na temperatura de 5 e 25 °C, durante 6 horas.

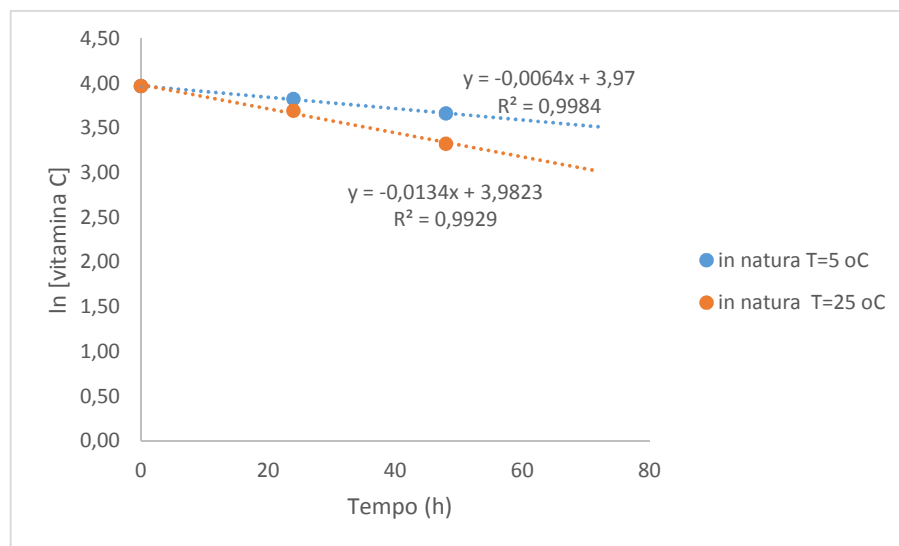
Tempo (h)	% de vit C (T =5°C)	% de vit C (T =25°C)
0	100	100
2	98	96
4	94	91
6	93	90

Fonte: Arquivo Pessoal

Observa-se através da Tabela 1 que a degradação da vitamina C foi muito baixa nas primeiras horas de degradação. Após o tempo de seis horas a porcentagem de vitamina C presente na amostra foi de 93% e 90% para as amostras em temperatura de 5 e 25°C, respectivamente. Estes resultados contraria o senso comum estabelecido de que a vitamina C é destruída pouco depois que um suco de laranja é preparado. Este mesmo comportamento foi observado no trabalho desenvolvido por Danieli et al. (2009) que avaliaram a estabilidade da vitamina C em sucos de laranja industrializados e naturais e verificaram que os sucos *in natura* foram estáveis por até 14h de armazenamento refrigerado, enquanto os industrializados não apresentaram perda significativa de ácido ascórbico por até 72h. Rosa et al. (2010) avaliaram a taxa de degradação da vitamina C em sucos de laranja, acerola, laranja com acerola e laranja com mamão. Os resultados obtidos neste estudo mostram que após seis horas o suco que obteve a menor perda de vitamina C foi o suco de laranja com mamão apresentando uma perda de 12% do teor inicial. Recentemente, Spinola et al. (2013) avaliaram o teor de vitamina C em extratos de maracujá, por 5 horas, em temperatura de 23°C. Segundo esses autores, não houve queda mensurável da concentração da vitamina após 2h de armazenamento, porém foram detectadas após 5h de armazenamento no extrato de maracujá perdas de apenas 6,3%. Assim optou-se por fazer as determinações de vitamina C em período de 24 horas durante três dias.

Durante três dias foram retiradas três alíquotas das amostras de suco *in natura* e do suco pasteurizado que foram utilizadas para a determinação da degradação da vitamina C. Primeiramente foi feita a cinética de degradação da vitamina C em suco de laranja *in natura* armazenado em diferentes temperaturas. Os dados experimentais obtidos foram ajustados ao modelo de 1ª ordem utilizando o método dos mínimos quadrados através do software Excel versão 2013. A Figura 1 apresenta a cinética de degradação da vitamina C em suco de laranja *in natura* armazenado nas temperaturas de 5 e 25°C.

Figura 1- Cinética de degradação da vitamina C em suco de laranja *in natura* armazenado em diferentes temperaturas.



Fonte: Arquivo Pessoal

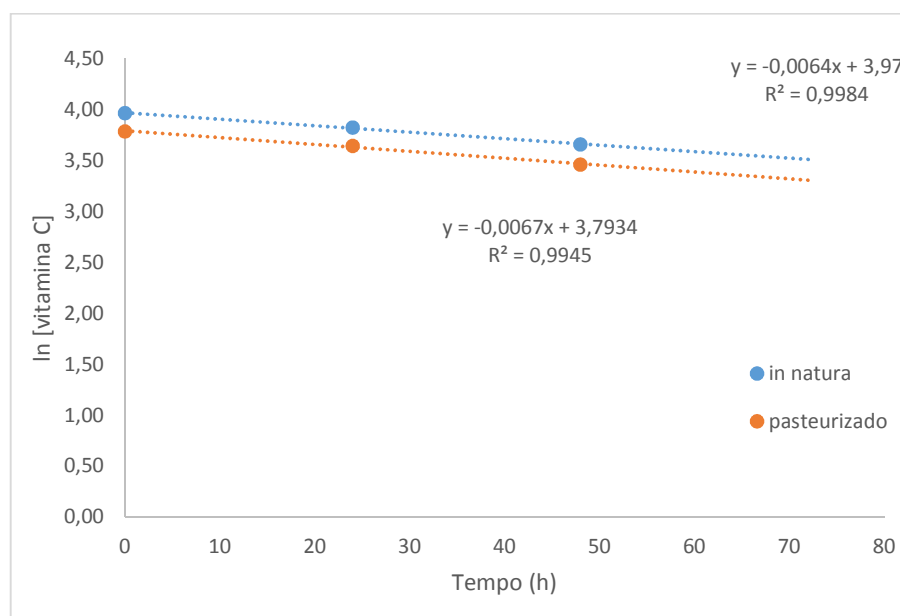
As inclinações das retas apresentadas na Figura 1 fornece o valor das constantes de velocidade (k). Os valores obtidos para essas constantes de foram iguais a $6,5 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ e $1,35 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ nas temperaturas de 5°C e 25°C, respectivamente. Observa-se através dos resultados apresentados que o valor da constante de velocidade k depende da temperatura. A velocidade de degradação do ácido ascórbico foi dependente da temperatura, ou seja, quanto maior do valor da constante k maior a velocidade de degradação da vitamina C. Portanto, a temperatura a que o produto é exposto é considerada um importante fator de influência na degradação do ácido ascórbico. A qualidade dos ajustes dos dados experimentais aos modelos foi avaliada através do coeficiente de determinação R^2 . O ajuste pelo modelo de cinética de

primeira ordem mostrou-se adequado para representar a degradação de vitamina C pois os valores de R^2 encontrado estão próximos de 1. Teixeira et al. (2006) estudaram a degradação da vitamina C em goiabada industrializada submetida a diferentes condições de estocagem e comprovaram que a retenção de vitamina C foi maior em temperatura de refrigeração (5°C) do que em temperatura ambiente (30°C).

Em seguida foi realizada a cinética de degradação da vitamina C para o suco de laranja pasteurizado cujo teor inicial vitamina C foi determinado após a abertura da embalagem e o valor encontrado foi 41,4 mg/100mL de suco. Observou-se que o teor de vitamina C no suco pasteurizado foi menor que no suco *in natura* pois possivelmente houve perda desta vitamina durante o processamento térmico da pasteurização e no seu armazenamento. Segundo Lima et al. (1999) a perda de vitamina C em produtos cítricos é causada principalmente pela incorporação de ar durante as etapas do processamento que favorece as reações aeróbicas de degradação. A Figura 2 apresenta a cinética de degradação da vitamina C em suco de laranja *in natura* e pasteurizado armazenado em temperatura de 5°C.

56

Figura 2 - Cinética de degradação da vitamina C em suco de laranja *in natura* e pasteurizado armazenado em temperatura de 5°C.



Fonte: Arquivo Pessoal

As inclinações das retas apresentadas na Figura 2 fornece o valor das constantes de velocidade (k) em suco de laranja *in natura* e pasteurizado armazenado em temperatura de 5°C. Os valores obtidos para essas constantes, na temperaturas de 5°C, foram iguais a $6,5 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ e $6,7 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ para suco de laranja *in natura* e pasteurizado, respectivamente. Observa-se através dos resultados apresentados que os valores são praticamente iguais. Analisando as constantes de velocidade nos gráficos, nota-se que as concentrações iniciais de ácido ascórbico no suco de laranja *in natura* de 52,8 mg/100mL e no suco de laranja pasteurizado de 41,4 mg/100mL, apesar de serem diferentes, não alteraram a velocidade da reação, pois valor das constantes de velocidade são iguais, apenas a temperatura contribuiu para isto. Segundo Brown (2005), ao trabalhar com leis de velocidade, é importante reconhecer que a velocidade de uma reação depende da concentração, mas a constante de velocidade (k) não depende dela.

Com os valores das constantes de velocidade k_1 e k_2 para as temperaturas 5°C e 25°C encontrados na Figura 1 foi possível determinar a energia de ativação através da equação (5) e o valor encontrado foi $23,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

Para degradação do ácido ascórbico em suco concentrado de pêssego, Toralles et al. (2008) encontraram uma energia de ativação na ordem de 45 kJ.mol^{-1} .

Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho comprovam que a vitamina C é estável e não sofre perdas durante as primeiras horas de conservação, contrariamente à crença popular da perda imediata da mesma. A análise cinética dos dados experimentais obtidos sugere que a degradação da vitamina C foi representada pelos modelos cinéticos primeira ordem. A velocidade de degradação da vitamina C foi maior a temperatura 25°C. Além disso observou-se que o valor da constante de velocidade k depende da temperatura, mas não da concentração inicial. A energia de ativação para degradação do ácido ascórbico foi de $23,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

Referências

ALVES, J. A.; NASSUR, R. C. M. R.; PIRES, C. R. F.; ALCÂNTARA, E. M.; GIANNONI, J. A.; LIMA, L. C. O. Cinética de degradação de vitamina c em mangas 'palmer' minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.3, p. 714-721, 2010.

ALVES, V. F. **Cinética da degradação do ácido ascórbico em suco de laranja concentrado.**

Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

ARANHA, F. Q.; BARROS, Z. F.; MOURA, L. S. A. The role of vitamin C in organic changes in aged people. **Revista de Nutrição**, n.3, v.2, p. 89-97, 2000.

BENDER, A.E. **Food processing and nutrition.** London: Academic Press, 1978.

BOBBIO, F. O. Introdução à química de alimentos, 2º ed. São Paulo: Livraria Varela, 1992.

BRASIL. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, ANVISA. Aprova o Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais, **Diário Oficial da União**; Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005.

BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central.** 9ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

CASTRO, I.; TEIXEIRA, J. A.; SALENGKE, S.; SASTRY, S. K.; VICENTE, A. A. Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.5, n.1, 2004.

CORRÊA NETO, R. S.; FARIA, J. A. F. Fatores que influem na qualidade do suco de laranja. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, 1999.

CUNHA, K. D.; SILVA, P. R.; COSTA, A. L. F. S.; TEODORO, A. J.; KOBLITZ, M. G. B. Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento. **Brazilian Journal of food technology**, v. 17, n. 2, p. 139-145, 2014.

DANIELI, F.; COSTA, L. R. L. G.; SILVA, L. C.; HARA, A. S. S.; SILVA, A. A. Determinação de Ácido Ascórbico em Amostras de Suco de Laranja in natura e Amostras Comerciais de Suco de Laranja Pasteurizado e Envasado em Embalagem Tetra Pak. **Revista do Instituto de Ciências da Saúde**, v. 27, n. 4, 2009.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. A importância da Vitamina C na sociedade através dos tempos. **Química Nova na Escola**, n.17, p. 3-7, 2003.

GAVA, A. J. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações.** São Paulo: Nobel, 2008.

LIMA, M.; HESKITT, B. F.; BURIANEK, L. L.; NOKES, S. E.; SASTRY, S. K. Ascorbic acid degradation kinetics during conventional and ohmic heating. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.23, n.5, 1999.

MAIA, D. J.; BIANCHI, J. C. A. **Química Geral: fundamentos.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

MILANESIO, M.; BIANCHI, R.; UGLIENGO, P.; ROETTI, C.; VITERBO, D. **Vitamin C at 120 K:** experimental and theoretical study of the charge density. *J. Mol. Struct. (Theochem)* v. 419, p.139-154, 1997.

MOSER, U.; BENDICH, A. **Vitamin C.** In: Machlin, Lawrence J. Handbook of vitamins. 2nd. ed. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 195-232.

NEPA-UNICAMP, Tabela Brasileira de Composição de Alimentos: TACO. 2 ed. Campinas, 2006. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acesso em: 02/2017.

NESPOLO, C. R.; OLIVEIRA, F. A.; PINTO, F. S. T.; OLIVEIRA, F. C. **Práticas em tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

ÖZKAN, M.; AYSEGÜL, K.; CEMEROGLU, B. Effects of hydrogen peroxide on the stability of ascorbic acid during storage in various fruit juices. **Food Chemistry**, v.88, n.4, p. 591-597, 2004.

POLYDERA, A. C.; STOFOROS, N. G.; TAOUKIS, P. S. Quality degradation kinetics of pasteurised and high pressure processed fresh Navel orange juice: Nutritional parameters and shelf life. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.6, p. 1-9, 2005.

ROMERO, A. L.; SILVA, E. L.; MICHELLAN, N. M. K. **Teor de vitamina C em sucos de frutas: Uma proposta de atividade experimental**. In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005, Bauru. Atas do 5º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.

ROSA, J. S.; GODOY, R. L. de O.; OIANO NETO, J.; CAMPOS, R. S.; ARAUJO, M. C. P.; BORGUINI, R. G.; PACHECO, S.; MATTA, V. M. **Estudo da taxa de degradação de vitamina C em alguns sucos de frutas**. 3º Simpósio de segurança alimentar. Florianópolis, 2010.

SILVA, S. L. A., FERREIRA, G. A., SILVA, R. R. À procura da vitamina C. **Revista Química Nova na Escola**, v.2, p. 31-32, 1995.

SPINOLA, V.; BERTA, B.; CÂMARA, J. S.; CASTILHO, P. C. Effect of Time and Temperature on Vitamin C Stability in Horticultural Extracts. UHPLC-PDA vs. Iodometric Titration as Analytical Methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 489-495, 2013.

TEIXEIRA, M.; MONTEIRO, M. Degradação da vitamina C em suco de fruta. **Alimentos e Nutrição - Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.17, n.2, p.219-227, 2006.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A. A.; QUAIST, D. G. Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados. **Manual Técnico**, 6. Campinas: ITAL, 1996. 74 p.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T.; DEL PINO, F. A. B.; ANTUNES, P. L. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p.18-23, 2008.

VIEIRA, M. C.; TEIXEIRA, A. A.; SILVA, C. L. M. Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. **Journal of Food Engineering**, v.43, p. 1-7, 2000.

VIKRAM, V. B.; RAMESH, M. N.; PRAPULLA, S. G. Thermal degradation kinetics of nutrientes in Orange juice heated by eletromagnetic and conventional methods. **Journal of Food Engineering**, v.69, n.1, p. 31-40, 2005.