

ANÁLISE DA CINÉTICA DE CONGELAMENTO DE LIMÃO TAHITI

Ruth Brito de Figueiredo Melo¹; Renata Duarte Almeida²; Anastácia Maria Mikaella Campos Nóbrega André³; Rafaela Duarte Almeida Araújo⁴; Ramon Viana de Sousa⁵

*Universidade Federal de Campina Grande – Doutorado em Engenharia de Processos -
ruthmeloead@gmail.com¹; renatadual@yahoo.com.br²; anastaciamikaella@gmail.com³;
rafaeladual@gmail.com⁴; Prof. Orientador ramon.sousa@ifrn.edu.br⁵*

RESUMO: Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores mundial de citros com mais de 19 milhões de toneladas (IBRAF, 2010). A citricultura tem grande importância para a agricultura nacional, ocupando uma área aproximada de 812 mil hectares, com produção anual de cerca de 20 milhões de toneladas de frutos (IEA, 2010). Com relação à comercialização do limão tahiti, tem tido grande demanda por parte de mercados internacionais. Isto explica o uso do processamento destes frutos por remoção do calor, uma vez que a redução da temperatura dos alimentos diminui as alterações bioquímicas e microbiológicas que podem ocorrer durante a armazenagem. Esses processos baseiam-se na refrigeração como principal componente de conservação. A liofilização e a concentração pelo frio ainda são importantes processos para alguns produtos de alto valor agregados, porém os altos custos de operação dessas tecnologias ainda são importantes impedimentos a sua ampla adoção. Dentro deste contexto, este trabalho, teve por objetivo desenvolver e analisar uma cinética de congelamento do limão tahiti (*Citrus aurantifolia var. tahiti*), em diferentes taxas de resfriamento (-18°C) e (-60°C), bem como a temperatura de congelamento do produto pelo método das tangentes e a influência da taxa de resfriamento no tempo de congelamento. Com base nos dados obtidos, observou-se que quanto menor a temperatura do freezer, menor é o tempo de congelamento da amostra, devido ao alto gradiente de temperatura.

Palavras chave - Cinética de congelamento, taxas de resfriamento, limão tahiti.

INTRODUÇÃO

As plantas cítricas são nativas da Ásia, pertencentes a família *Rutaceae* e o gênero *Citrus*, e representam o ponto mais alto de um longo período evolutivo, cujo início remonta a mais de 20 milhões de anos, na Austrália (SWINGLE, 1967). Segundo pesquisadores, os citros foram levados da Ásia para o norte da África e de lá para o sul da Europa, onde teriam chegado na Idade Média. Da Europa foram trazidos para as Américas na época dos descobrimentos, por volta de 1500 (TURRA & GHISI, 2010).

A região Nordeste é a segunda maior produtora de citros no Brasil, ficando atrás apenas da região Sudeste, sendo os estados da Bahia (986,2 mil toneladas) e Sergipe os principais produtores da região, e a Paraíba encontra-

se na oitava posição no ranking do Nordeste, com 21 mil toneladas, estando à frente apenas do Rio Grande do Norte (IBRAF, 2010). Porém, estes estados ainda têm um longo caminho a percorrer em termos de adoção de tecnologia e organização dos produtores.

O uso do processamento destes frutos por remoção do calor, através da diminuição da temperatura dos alimentos possui benefícios importantes na manutenção das características sensoriais e do valor nutricional para a produção e preservação dos alimentos. Muitos dos desenvolvimentos de métodos de processamento mínimo, bem como a armazenagem de produtos frescos, baseiam-se na refrigeração como principal componente de conservação.

Geralmente, quanto mais baixa a temperatura de armazenagem, mais tempo os alimentos podem ser armazenados, pois o congelamento continua a ser um importante método de processamento para a produção de alimentos. Dentro deste contexto, adotou-se a operação unitária de congelamento, na qual a temperatura do limão é reduzida abaixo do seu ponto de congelamento, onde desenvolveu-se e analisou-se a cinética de congelamento do limão tahiti em diferentes taxas de resfriamento. Com base nesses dados, foram determinados e analisados os gráficos de congelamento, bem como a temperatura de congelamento do produto pelo método das tangentes e a influência da taxa de resfriamento no tempo de congelamento.

Durante esse processo, primeiramente é removido o calor sensível para diminuir a temperatura de um alimento até o ponto de congelamento. Em alimentos frescos, o calor produzido pela respiração também é removido. Este é chamado de carga calorífica e é importante na determinação do tamanho correto do equipamento para uma taxa de produção específica. A maioria dos alimentos possui uma grande proporção de água que tem um alto calor específico ($4.200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e um alto calor latente de cristalização (335 kJ kg^{-1}).

Uma quantidade substancial de energia é, portanto, necessária para remover o calor latente, formar os cristais de gelo e congelar os alimentos. O calor latente de outros componentes do alimento (por exemplo, gorduras) deve também ser removido antes que solidifiquem, mas, na maioria dos alimentos, estes componentes estão presentes em pequenas quantidades e é necessária a remoção de uma quantidade relativamente pequena de calor para que a cristalização aconteça.

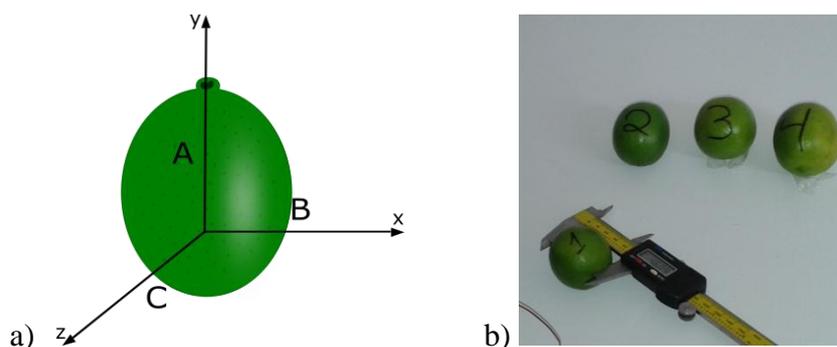
A energia para o congelamento é fornecida como energia elétrica, que é utilizada para comprimir gases (refrigerantes) em equipamentos de congelamentos mecânicos ou para comprimir e resfriar fluidos criogênicos. Se a temperatura for monitorada no centro térmico do alimento (ponto que resfria mais lentamente), obtém-se uma curva característica quando o calor é removido.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta prática foram utilizados dois termômetros digitais sendo um Oakton® Termometer, modelo Temp 100 JTEK com duas entradas de termopares, e outro Iminipo Thermo Hygrometer, modelo MTH-1362W, com uma entrada de termopar; um paquímetro digital Stanley® Digital Caliper; duas freezers, sendo uma comercial com temperatura de -18°C e outro industrial Indrel® IULT9504D com temperatura de -60°C e as amostras: quatro unidades de limão tahiti (*Citrus aurantifolia* var. *tahiti*).

Primeiramente foram realizadas as medidas das dimensões dos limões com o auxílio do paquímetro digital conforme a figura: 1(a) e com as medidas foram feitos os cálculos para saber o centro geométrico de cada amostra, conforme Figura 1(b).

Figura 1- Descrição das medidas das amostras.



Fonte: dados da amostra

A prática foi dividida em dois dias: no primeiro dia foi feita com dois limões (amostras 1 e 2), no freezer comercial com temperatura de -18°C . Em seguida, foi feito um furo para introduzir o termopar em cada limão, depois foi colocado silicone no furo para não entrar corrente de ar no centro geométrico e mascarar a temperatura no centro e, finalmente, foi colocado um sensor no interior do freezer comercial pois, este não possuía leitor de temperatura. Esse procedimento foi necessário, para sabermos o momento em que a temperatura do limão entrasse em equilíbrio térmico com o meio. No segundo dia foi realizado o mesmo procedimento com os frutos restantes (amostras 3 e 4), sendo a temperatura do freezer a -60°C .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durantes as medições das amostras foram anotados todos os dados conforme apresentados na Tabela 1.

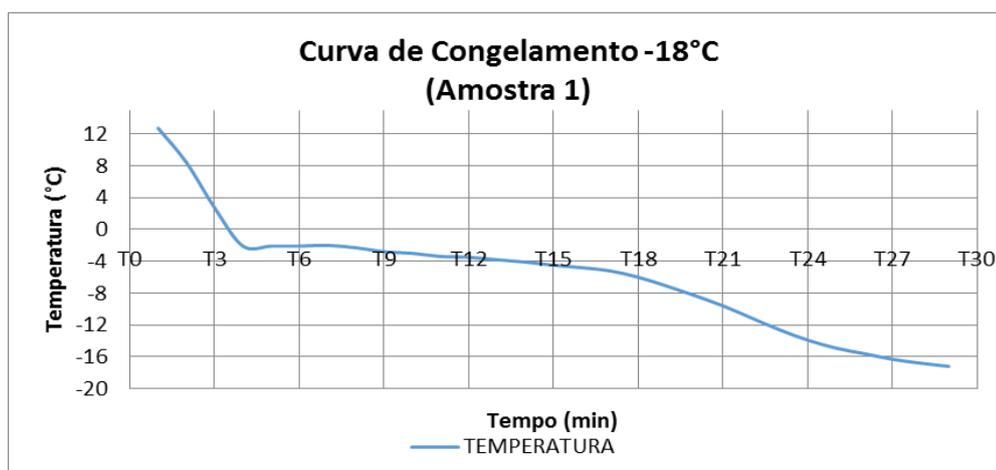
Tabela 1- Dados das medidas da altura: A e dos diâmetros: B e C das amostras.

Altura / Diâmetros	Amostras			
	1	2	3	4
A	45,23	52,01	46,6	52,09
B	43,86	45,33	45,94	45,18
C	43,65	45,46	46,05	47,53

Fonte: dados da amostra

Após todos os procedimentos com as amostras 1 e 2 no início do primeiro dia de análise, estas foram colocadas no interior do freezer com temperatura de (-18°C). A partir do tempo zero (T₀ = 10:45 h) foram coletados 29 valores de temperatura inicialmente com intervalos de 15 minutos e depois com intervalos de 20 minutos até a amostra entrar em equilíbrio térmico com o interior do equipamento de produção de frio, finalizando com uma de temperatura de aproximadamente (-17°C), onde com os dados registrados foi gerado o Gráfico 1.

Gráfico 1- Curva de congelamento da amostra 1.



Fonte: dados da amostra

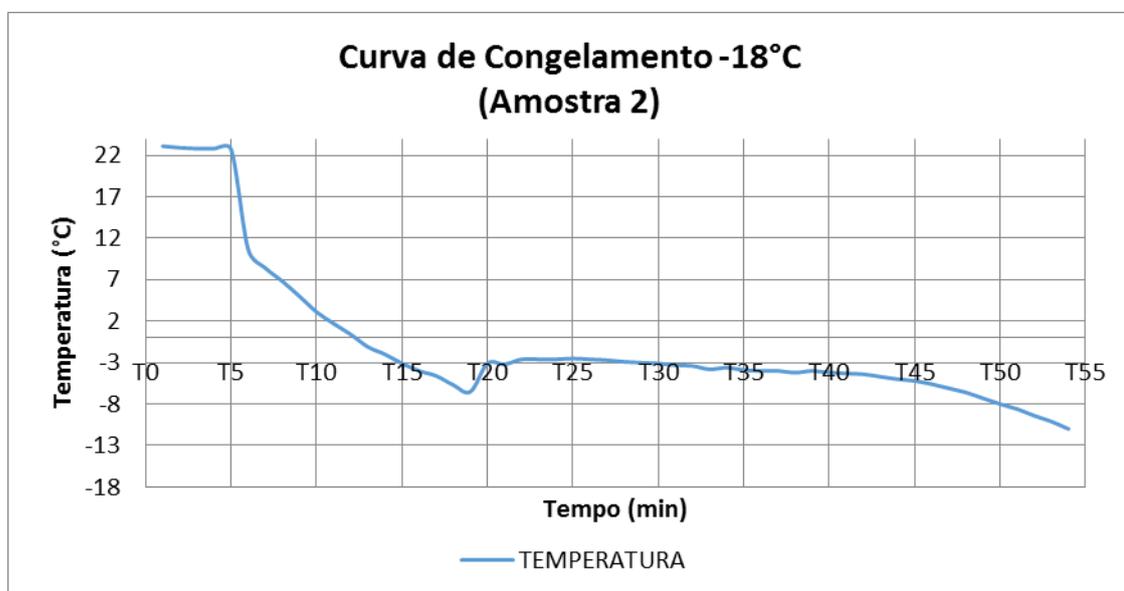
O Gráfico 1 mostra que o período de resfriamento ocorreu num intervalo de 45 minutos,

visto que, decorrido esse tempo, a temperatura da amostra se apresentou praticamente constante, caracterizando assim o início do processo de congelamento.

Esse processo foi iniciado quando a amostra 1, atingiu a temperatura de $(-2,1^{\circ}\text{C})$, durando aproximadamente 210 minutos, onde observou-se no gráfico que o processo de congelamento chega ao fim no momento em que a curva começa a ter um declínio abrupto da temperatura em relação ao tempo, a temperatura da amostra 1 ao fim do processo foi de $(-5,2^{\circ}\text{C})$, sendo assim, no intervalo de $(-2,1^{\circ}\text{C})$ a $(-5,2^{\circ}\text{C})$, a amostra encontrou-se na zona crítica. Ao termino do período de congelamento, a Amostra 1 foi resfriada até uma temperatura próxima da temperatura do congelador, atingindo $(-17,2^{\circ}\text{C})$, num intervalo de 240 minutos, caracterizando o período de pós-congelamento. O processo de congelamento foi realizado num tempo total de 495 minutos.

Na amostra 2, a partir do tempo zero ($T_0 = 11:30$ h) foram coletados 54 valores de temperatura inicialmente com intervalos de 5 minutos, depois com intervalos de 10 minutos e por fim com intervalos de 15 minutos até a amostra entrar em equilíbrio térmico com o interior do freezer a (-18°C) , finalizando com uma temperatura de aproximadamente (-17°C) , onde com os dados registrados foi gerado o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Curva de congelamento da amostra 2.



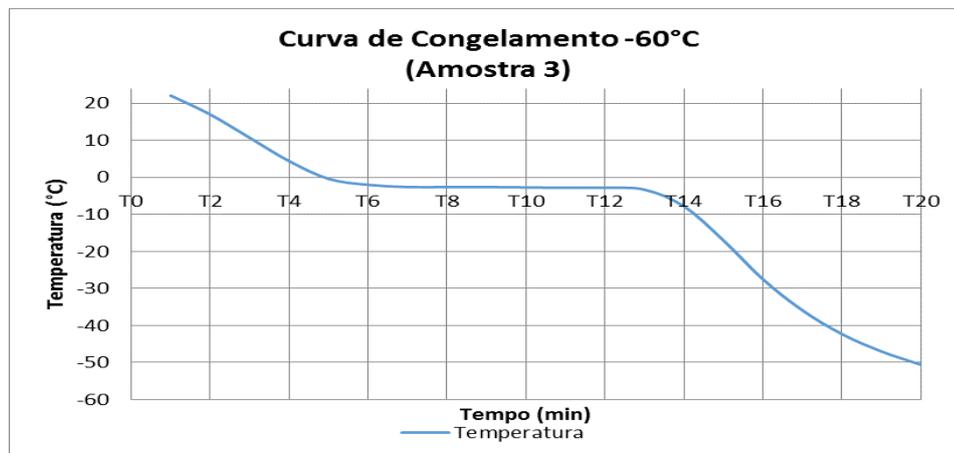
Fonte: dados da amostra

O Gráfico 2 não representa um fenômeno físico de congelamento, devido a problemas ocorridos durante o experimento. Tais

problemas ficam evidenciados principalmente durante o processo de resfriamento da amostra, provocando uma anormalidade do gráfico principalmente no início do processo, onde a temperatura não apresentou variação significativa durante 20 minutos, e logo em seguida apresentou uma drástica variação. Sendo assim, para esta amostra não consideramos a validação do ponto de vista experimental, já que a confiabilidade, dos resultados obtidos, foi comprometida.

No dia seguinte, após todos os procedimentos iniciais com as amostras 3 e 4, estas foram colocadas no interior do freezer com temperatura de (-60°C) . A partir do tempo zero ($T_0 = 09:15$ h) foram coletados 21 valores de temperatura inicialmente com intervalos de 5 minutos e depois com intervalos de 10 minutos até as amostras entrarem em equilíbrio térmico com o interior do equipamento de produção de frio, um freezer a (-60°C) , finalizando com uma de temperatura de aproximadamente $(-54,4^{\circ}\text{C})$ e $(-54,5^{\circ}\text{C})$ respectivamente, onde com os dados coletados foram gerados os Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 - Curva de congelamento da amostra 3.



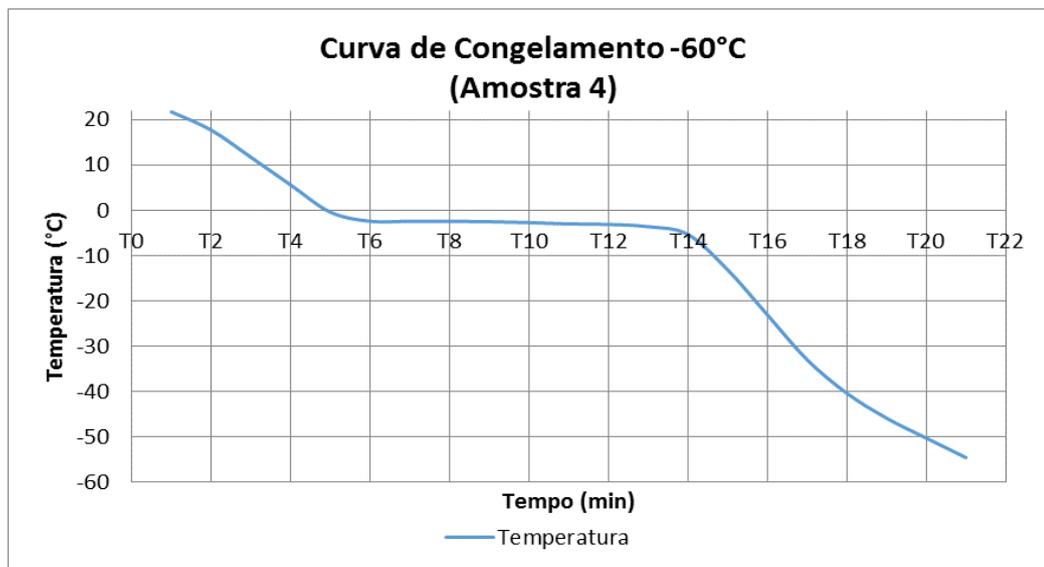
Fonte: dados da amostra

O Gráfico 3 mostra que o período de resfriamento ocorreu num intervalo de 20 minutos, visto que, decorrido esse tempo, a temperatura da amostra se apresentou praticamente constante, caracterizando assim o início do processo de congelamento. Esse processo foi iniciado quando a amostra atingiu a temperatura de $(-0,4^{\circ}\text{C})$, durando aproximadamente 50 minutos, onde observou-se no gráfico que o processo de congelamento chega ao fim no momento em que a curva começa a ter um declínio abrupto da temperatura em relação ao tempo. A temperatura da amostra ao fim do processo foi de $(-3,3^{\circ}\text{C})$, sendo assim, no intervalo de $(-0,4^{\circ}\text{C})$ a $(-3,3^{\circ}\text{C})$, a amostra encontrou-se na zona crítica.

Ao término do período de congelamento, a Amostra 3 foi resfriada até uma temperatura próxima da temperatura do congelador, atingindo ($-54,5^{\circ}\text{C}$), num intervalo de 80 minutos, caracterizando o período de pós-congelamento. O processo de congelamento foi realizado num tempo total de 150 minutos.

O gráfico 4, trata dos dados obtidos com a amostra 4.

Gráfico 4 - Curva de congelamento da amostra 4.



Fonte: dados da amostra

O Gráfico 4 mostra que o período de resfriamento ocorreu num intervalo de 20 minutos, visto que, decorrido esse tempo, a temperatura da amostra se apresentou praticamente constante, caracterizando assim o início do processo de congelamento. Esse processo foi iniciado quando a amostra atingiu a temperatura de ($-0,4^{\circ}\text{C}$), durando aproximadamente 60 minutos, onde observou-se no gráfico que o processo de congelamento chega ao fim no momento em que a curva começa a ter um declínio abrupto da temperatura em relação ao tempo. A temperatura da amostra ao fim do processo foi de ($-5,3^{\circ}\text{C}$), sendo assim, no intervalo de ($-0,4^{\circ}\text{C}$) a ($-5,3^{\circ}\text{C}$), a amostra encontrou-se na zona crítica.

Ao término do período de congelamento, a Amostra 4 foi resfriada até uma temperatura próxima da temperatura do congelador, atingindo ($-54,5^{\circ}\text{C}$), num intervalo de 70 minutos, caracterizando o período de pós-congelamento. O processo de congelamento foi realizado num tempo total de 150 minutos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados, das amostras analisadas, apenas a Amostra 2, apresentou curva de congelamento incompatível com a cinética de resfriamento desejável. A temperatura do início e fim do congelamento das amostras são diferentes, sendo a temperatura do fim do congelamento menor que a do início, conforme observado na literatura. Observou-se que o tempo do congelamento das amostras no freezer que tem a capacidade de atingir -60°C , foi menor que a amostra congelada no freezer com capacidade de atingir -18°C , devido a taxa de transferência de calor ser maior no primeiro freezer devido ao alto gradiente de temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. Brasil é o 3º produtor mundial de frutas. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/news/news_item.asp?NewsID=81 29. Acesso em: Outubro de 2010.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. Projeções de produção de laranja em São Paulo até 2009. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em 22 de jun. 2010.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: Dezembro de 2010.

TURRA, C.; GUISI, F. Laranja orgânica no brasil: produção, mercado e tendências. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/12/01P052.pdf>. Acesso em: Dezembro de 2010.

SWINGLE, W.T The botany of Citrus and its relatives. Revisão de Philip C. Reece. In: REUTHER, W.; WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. (eds.). The citrus industry. Berkeley, California: University of California, 1967. v.1, cap.3, p.190-430.