

Preservação de abacaxis congelados por impregnação a vácuo de pectina e propionato de cálcio¹

Preservation of frozen pineapple pieces through the vacuum impregnation with pectin and calcium propionate

Rafael Souza Ribeiro Cruvinel², Mônica Elisabeth Torres Prado³, Jaime Vilela de Resende^{4*} e Marcelo Ângelo Cirillo⁵

Resumo – Neste trabalho, estudou-se o efeito da impregnação a vácuo de pedaços de abacaxis com pectina e propionato de cálcio sobre a preservação das características originais dos tecidos após descongelamento. Cortes cilíndricos de abacaxi (3,0 cm de diâmetro) foram submetidos à impregnação com pressão de vácuo controlada e soluções constituídas de sacarose 20% adicionadas de pectina (0; 0,61; 1,5; 2,39 e 3% peso/peso) e propionato de cálcio (0; 1,21; 3; 4,79 e 6% peso/peso), e congelados em ar estático com temperatura de -20 ± 2 °C. O tempo do processo de impregnação a vácuo foi de 4 horas e foi utilizado o delineamento composto rotacional central, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta para especificar as condições experimentais. Tanto na matéria-prima quanto nas amostras descongeladas foram realizadas medidas de textura, teor de sólidos solúveis, teor de umidade, perda de fluido celular e viscosidade, as quais foram avaliadas em função das concentrações de pectina e propionato de cálcio e pressão de processamento. Os resultados mostraram que para concentrações de pectina em torno de 1,5 g/100 mL de solução e aumentando-se a concentração de propionato de cálcio (até 6 g/100 mL de solução) é possível obter estruturas mais íntegras. Estes resultados foram verificados pelo aumento do teor de sólidos solúveis totais, redução da perda de textura e redução da perda de fluido celular, preservando as características de pedaços de abacaxis congelados.

Palavras-chave - Frutas congeladas. Perda de fluido celular. Viscosidade.

Abstract - In this work the effect of the vacuum impregnation of pineapples pieces with pectin and calcium propionate on the preservation of the original tissues characteristics after thawing was studied. Cylinders of pineapple (3.0 cm diameter) were submitted to the vacuum impregnation with controlled pressure and with solutions of sucrose 20% added of pectin (0; 0.61; 1.5; 2.39 and 3% weight/weight) and calcium propionate (0; 1.21; 3; 4.79 and 6% weight/weight). These cylinders were frozen in static air at temperature of -20 ± 2 °C. The vacuum impregnation time was 4 hours and a rotational central composite design was used and associated to the response surface methodology to specify the experimental conditions. Measurements of the texture, total soluble solids contents, moisture contents, cellular fluid loss (exudation) and fluid viscosity, were made before and after freezing process. These responses were evaluated in relation to the pectin and calcium propionate concentrations and processing pressure. Results showed that for pectin concentrations around 1.5 g/100 mL of solution and increasing the calcium propionate concentration (until 6 g/100 ml of solution) is possible to get more integer structures. These results were verified by the increase in total soluble solids, lower texture loss and reduced cellular fluid loss, preserving the characteristics of frozen pineapple pieces.

Key words - Frozen fruits. Cellular fluid loss. Viscosity.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 26/11/2008; aprovado em 13/10/2009

Pesquisa financiada pelo CNPq

²Departamento de Ciência dos Alimentos, DCA/UFLA, Lavras-MG, Brasil, rafacruvinel@uol.com.br

³Núcleo de Inovação Tecnológica, NINTEC/UFLA, Lavras-MG, Brasil, monica.nintec@nintec.ufla.br

⁴Departamento de Ciência dos Alimentos, DCA/UFLA, Caixa Postal 3037, Lavras-MG, Brasil, 37200-000, jvresende@dca.ufla.br

⁵Dep.artamento de Ciências Exatas, DEX/UFLA, Lavras-MG, Brasil, macufla@gmail.com

Introdução

A principal forma de deterioração que inviabiliza o congelamento e o armazenamento congelado de frutas em pedaços é a perda de textura decorrente dos danos mecânicos causados por cristais de gelo às paredes celulares nos tecidos. Esses cristais de gelo, provavelmente, se formam inicialmente nos espaços intercelulares contendo ar úmido que se condensa na parede celular com o abaixamento da temperatura dando origem a pontos de nucleação de gelo (DELGADO; RUBIOLO, 2005; FENNEMA et al., 1973).

No processo de impregnação a vácuo, as soluções são incorporadas nestes espaços com a retirada do ar pelo equipamento de vácuo. Essa operação geralmente é usada em processamento de frutas e vegetais, para obter diversos tipos de produtos, tais como, minimamente processados ou produtos de umidade intermediária (ALZAMORA et al., 1997), como um pré-tratamento para secagem (NIETO et al., 1998) ou congelamento (ZHAO; XIE, 2004). Durante o processo há dois fluxos principais simultâneos devido à água e à atividade osmótica do soluto: fluxo da água do alimento na solução de infusão e fluxo dos solutos da solução no alimento (ZHAO; XIE, 2004).

Os componentes da solução impregnados no fruto modificam os hábitos de crescimentos dos cristais de gelo influenciando na mobilidade molecular da água necessária para o crescimento ou aumentam a resistência dos tecidos pela interação destes componentes com os compostos de parede celular (FERNANDEZ et al., 2007; RESENDE; CAL-VIDAL, 2002; VAN BUGGENHOUT et al., 2008).

A natureza poli-hidroxílica dos polímeros da parede celular dos frutos reflete que grande quantidade de ligações de hidrogênio se formará na parede celular. As ligações de hidrogênio são intensificadas na ausência de água, visto que ligações de hidrogênio polissacarídeo-água competirão com as ligações polissacarídeo-polissacarídeo. Ligações iônicas também ocorrem entre dois resíduos de ácidos galacturônicos próximos, com íons cálcio atuando como ligações iônicas entre os íons galacturonatos carregados negativamente (BRETT; WALDRON, 1990).

Trabalhos feitos adicionando sais de cálcio (CaCl_2) antes do congelamento foram realizados por Sousa et al. (2007); Resende et al. (2007); Van Buggenhout et al. (2006) e por Paoletti; Menessatti (1993). Os resultados demonstraram que a presença de íons Ca^{2+} melhora a textura característica dos frutos quando comparadas às amostras não tratadas. Outros sais de cálcio usados como agentes de manutenção da firmeza incluem o lactato de cálcio

(PEREIRA et al., 2009) e o propionato de cálcio. O uso do propionato de cálcio com este objetivo foi testado por Aguayo et al. (2008) em melões minimamente processados sob armazenamento refrigerado e por Manganaris et al. (2007) com pêssegos também armazenados sob refrigeração. Não foram encontrados registros de aplicações do propionato de cálcio em frutas congeladas.

O presente trabalho tem como objetivos: analisar os principais efeitos das alterações físicas e físico-químicas decorrentes do processo de impregnação a vácuo sobre a preservação da textura de frutos de abacaxis após congelamento/descongelamento; avaliar a influência da pressão, concentração de pectina e propionato de cálcio sobre a eficiência da impregnação de solutos nas estruturas dos pedaços de frutos; analisar as alterações na viscosidade da solução original, após o congelamento/descongelamento, e correlacionar os resultados com os fluxos de componentes observados em cada um desses processos; avaliar os parâmetros indicadores de qualidade (sólidos solúveis totais, perda de fluido celular, umidade e textura) e especificar dentre os tratamentos testados, quais aqueles se mostraram mais efetivos na manutenção das características originais dos pedaços de frutas.

Material e métodos

Cortes cilíndricos (3,0 cm de diâmetro) foram obtidos a partir das fatias de 1 cm de espessura de abacaxis adquiridos no mercado local. Estes foram submetidos à impregnação com pressão de vácuo controlada e soluções constituídas de sacarose 20%, pectina e propionato de cálcio em diferentes concentrações (Tabelas 1 e 2), durante um período de 4 horas. O planejamento experimental com as condições (níveis codificados) está apresentado na Tabela 1 e os níveis decodificados de cada variável são mostrados na Tabela 2.

Foi utilizado um delineamento composto rotacional central, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis independentes foram: 1- concentração de pectina (% peso/peso); 2- concentração de propionato de cálcio (% peso/peso); 3- pressão de vácuo (kPa) (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

O delineamento inclui dezessete ensaios: oito pontos fatoriais, 6 pontos axiais e três repetições do ponto central. O software MINITAB 15 foi usado para as análises estatísticas.

Do lote de matéria-prima foram selecionados os frutos em boas condições para processamento. A lavagem foi feita com água corrente.

Tabela 1 - Níveis codificados das variáveis para os ensaios

Ensaio	Pectina	Propionato de Cálcio	Pressão
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	-1,68	0	0
13	1,68	0	0
14	0	-1,68	0
15	0	1,68	0
16	0	0	-1,68
17	0	0	1,68

Tabela 2 - Níveis decodificados das variáveis

Níveis decodificados			
Níveis codificados	Pectina (%)	Propionato de Cálcio (%)	Pressão (Kpa)
-1,68	0	0	5
-1	0,61	1,21	9,05
0	1,50	3	15
1	2,39	4,79	20,95
1,68	3	6	25

As soluções utilizadas no processo de infusão foram preparadas com água destilada, variando-se as concentrações de acordo com as condições estabelecidas em cada ensaio (Tabela 2).

Devido às dimensões do equipamento piloto, a proporção volume de fruta:volume de solução foi de 1:3. Na impregnação a vácuo utilizou-se uma câmara hermética com pressão controlada, acoplada a uma bomba de vácuo. As operações utilizadas no processamento dos abacaxis estão representadas no fluxograma constante da Figura 1.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi avaliado para o fruto “in natura” e após congelamento/descongelamento, por leitura direta em refratômetro digital (ATAGO – PR100), utilizando suco de abacaxi obtido após a filtração da polpa. A variação percentual do teor de sólidos solúveis foi determinada a partir da equação 1.

$$\%SST = \frac{SST_2 - SST_1}{SST_1} \times 100\% \quad (1)$$

Onde SST₁ é o valor de SST na matéria prima; SST₂ é o valor de SST no produto final.

O aumento ou a redução de peso dos cilindros de abacaxis processados com sistemas de hidrocolóides foi avaliado através de balanços de massa dos frutos “in natura” e após o congelamento/descongelamento. A equação 2 foi utilizada para a determinação da porcentagem de perda de fluido celular.

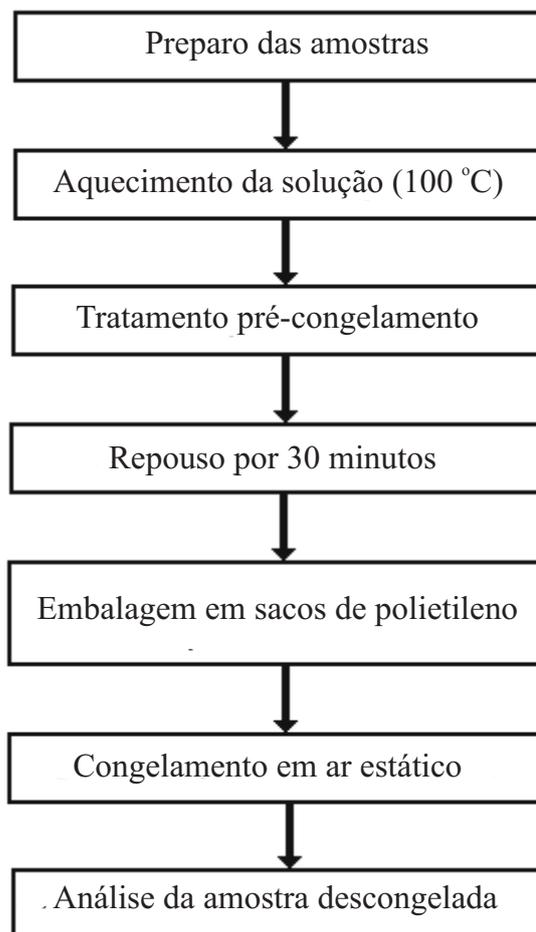


Figura 1 - Fluxograma das operações utilizadas no processamento dos frutos.

$$\%PFC = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad (2)$$

Onde M_1 é o valor da massa da matéria prima; M_2 é o valor da massa do produto final.

A determinação da viscosidade da solução foi feita para a solução original e após congelamento/descongelamento, através de leituras em viscosímetro (Brookfield modelo RVT), com Spindle 1 e velocidade de 50 rpm. Foi utilizada a equação 3 para determinação da porcentagem de perda da viscosidade.

$$\% \text{ viscosidade} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100\% \quad (3)$$

Onde V_1 é a viscosidade da solução original (cP); V_2 é a viscosidade da solução após o congelamento.

Para cada ensaio foram feitas pesagens em triplicata das amostras de abacaxis *in natura* e após congelamento/descongelamento. A seguir foram colocadas em placas de vidro e submetidas à secagem em estufa a 105 °C até adquirirem peso constante. A porcentagem de perda de umidade nas amostras foi determinada a partir da equação 4.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (4)$$

Onde U_1 é o teor de umidade da amostra *in natura*; U_2 é o teor de umidade da amostra após o congelamento.

A determinação da textura para os cilindros de abacaxis *in natura* e descongelado foi feita através de ensaio de compressão uniaxial, com auxílio de um texturômetro Universal modelo TA.XT2 (Texture Analyser, Stable Micro Systems). A compressão da amostra foi realizada utilizando uma probe cilíndrica de 45 mm de diâmetro, a uma velocidade de compressão de 1 mm/s e 50% de deformação da amostra. Os valores médios das leituras da força máxima T_1 (N) para a firmeza da amostra *in natura* e T_2 (N) da amostra após congelamento foram aplicados na equação (5) usada para analisar a variação percentual da textura (%Textura) pós-congelamento/descongelamento.

$$\% \text{Textura} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \quad (5)$$

Resultados e discussão

O teor de sólidos solúveis totais é um parâmetro que influencia diretamente as propriedades físico-químicas responsáveis pela cristalização do gelo no abacaxi (JIE, et al. 2003). Pode-se verificar que a influência da concentração de pectina e propionato de cálcio na regressão (Tabela 3) bem como a interação entre estas substâncias é significativa ao nível de 95%.

O efeito mais pronunciado é observado em frutos tratados com concentrações intermediárias de pectina e concentrações superiores de propionato de cálcio. O coeficiente de determinação da regressão (R^2) foi de 97 %, evidenciando o bom ajuste do modelo da regressão. O R^2 mede a proporção da variação da variável dependente que é explicada pela variação na variável independente e, neste caso, significa que 97% da variação de SST podem ser explicadas pela variabilidade dos dados.

Somente 3% da variabilidade de SST da amostra podem ser explicadas por fatores diferentes daquele que é levado em conta no modelo de regressão utilizado, definido pela modelo quadrático com interação, cuja equação encontra-se descrita abaixo, onde y corresponde à resposta observada na parcela.

$$y = -63,827 + 45,87X_1 + 16,81X_2 + 0,92X_3 - 10,177X_1^2 - 0,0261X_2^2 - 0,0066X_3 - 4,052X_1X_2 - 0,050X_1X_3 - 0,0314X_2X_3 \quad (6)$$

Observa-se da Tabela 4 que a regressão quadrática teve significância ao nível de 1%. A falta de ajuste não teve significância, isso demonstra o bom ajuste efetuado pela curva.

A Figura 2 mostra superfícies de respostas da variação percentual do teor de SST após o descongelamento. Convém salientar que as superfícies ilustradas na Figura 2 foram geradas considerando-se a equação ajustada, fixando-se os níveis de um dos fatores, como por exemplo em A, o nível médio do fator pressão (kPa) foi mantido constante. Da mesma forma, procedeu-se com as demais figuras.

Em cada superfície de resposta, o fator que não está presente é fixado em seu valor intermediário. Conforme aumenta a concentração de pectina há uma diminuição do aumento do teor de SST já que, conseqüentemente, há um aumento da viscosidade das soluções, o que provavelmente influencia na cinética dos fluxos.

Tabela 3 - Estimativa dos Coeficientes da regressão para variação do teor de SST após Congelamento/Descongelamento

Termo	Coefficiente	Probabilidade
Constante	-63,8127	0,004*
Pectina (X_1)	45,8707	0,001*
Prop. Cálcio (X_2)	16,8145	0,003*
Pressão (X_3)	0,9276	0,051
Pectina*Pectina (X_1) ²	-10,1771	0,001*
Prop. Cálcio*Prop. Cálcio (X_2) ²	-0,0261	0,953
Pressão*Pressão (X_3) ²	-0,0066	0,090
Pectina*Prop. Cálcio (X_1).(X ₂)	-4,0524	0,005*
Pectina*Pressão (X_1).(X ₃)	-0,0501	0,596
Prop. Cálcio*Pressão (X_2).(X ₃)	-0,0314	0,505

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade, $R^2 = 97\%$

Tabela 4 - Análise de Variância para variação do teor de SST após congelamento e descongelamento

Fonte	Graus de liberdade	Soma quadrática	Média quadrática	Nível de significância
Regressão	9	4730,43	525,60	0,000*
Linear	3	3567,90	308,36	0,002*
Quadrática	3	812,37	270,79	0,003*
Interação	3	350,16	116,72	0,028**
Erro Residual	7	146,06	20,87	-
Falta de Ajuste	5	105,71	21,14	0,554
Erro Puro	2	40,35	20,17	-
Total	16	4876,49	-	-

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade

O aumento da concentração de propionato de cálcio ajuda a diminuir a viscosidade da solução, facilitando a transferência de massa do sistema, já que o aumento da concentração do propionato de cálcio aumenta o teor de SST após congelamento/descongelamento (Figura 2B). Observa-se na Figura 2C que a pressão no processo de impregnação não influencia a variação do teor de SST em pedaços de abacaxis após o congelamento/descongelamento.

Para evitar a perda de fluido celular após congelamento e descongelamento, a concentração de pectina é significativa ao nível de 99% e demonstra a importância desse fator e seus efeitos sobre este parâmetro. A pressão e a concentração de propionato de cálcio não apresentaram grande influência para regressão. O R^2 (84,3%) encontrado mostra a eficiência da regressão (dados não apresentados).

As superfícies de resposta na Figura 3 mostram a perda de fluido por exsudação de abacaxis após o

congelamento, em função das concentrações de pectina e propionato de cálcio e da pressão nos processos de impregnação com pressões de vácuo controladas.

A perda de fluido celular é um parâmetro de qualidade importante do congelamento que pode ser relacionado com o grau de rompimento das estruturas celulares. Quanto maior a perda de fluido celular mais danificado está o tecido. Porém à medida em que se aumenta a concentração de pectina, aumenta-se a viscosidade da solução, dificultando o processo de impregnação. Na análise de variância da variação percentual da textura após tratamento dos frutos por impregnação a vácuo e congelamento, a regressão dos coeficientes teve significância positiva. Para textura tanto a concentração de pectina quanto a concentração de propionato de cálcio tem influência na regressão dos coeficientes; o fator pressão não teve influência, e o coeficiente de determinação R^2 foi igual a 92,5% (dados não apresentados).

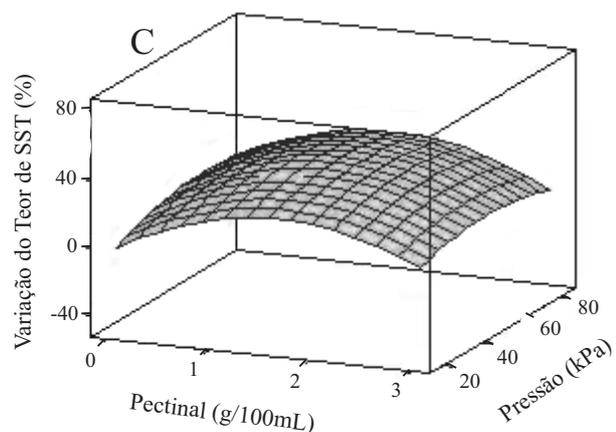
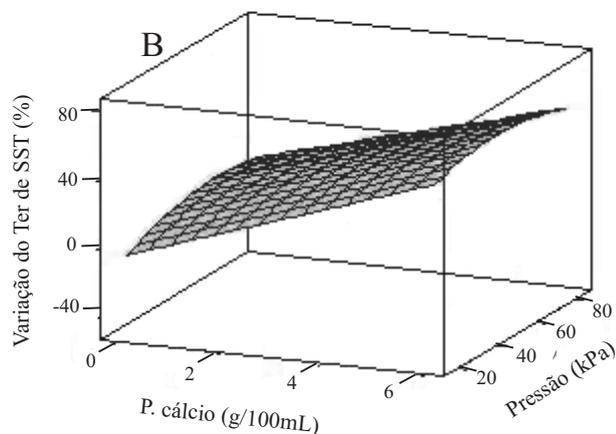
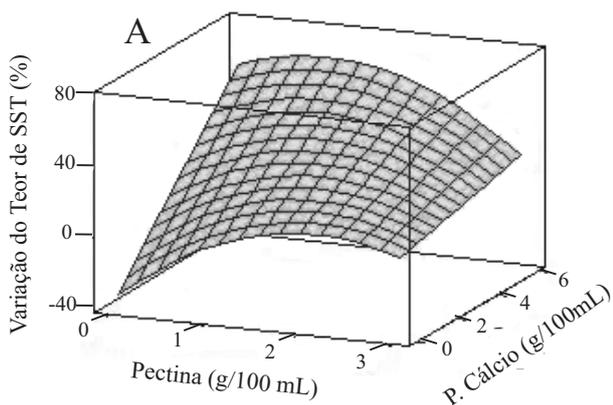


Figura 2 - Variação percentual do teor de SST em função da concentração (g/100mL de solução) de Pectina e Propionato de Cálcio (A); Pressão, em kPa, e Propionato de Cálcio (B); Pectina e Pressão (C) ($R^2 = 0,97$)

Quando os fatores pectina e propionato de cálcio estão presentes no mesmo sistema, a redução no percentual de perda de suco após o descongelamento é mais pronunciada

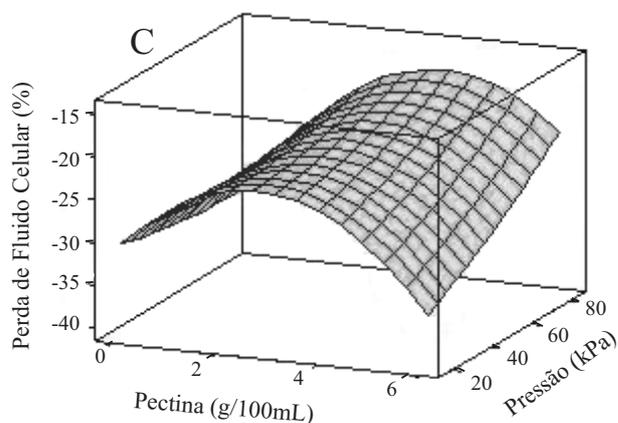
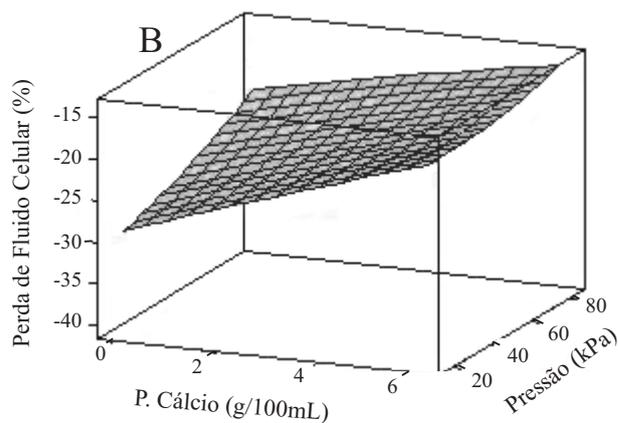
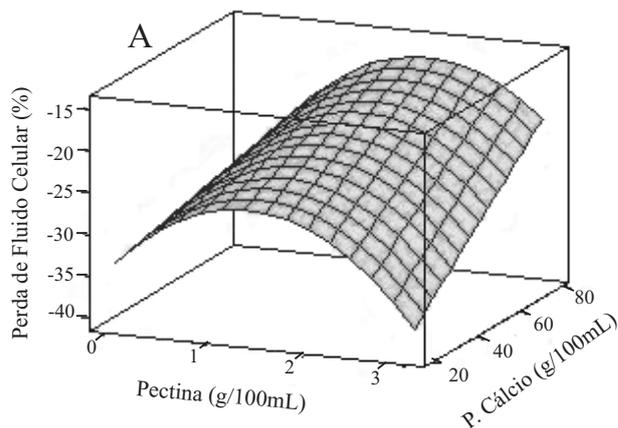


Figura 3 - Variação percentual do peso em função da concentração (g/100 mL de solução) de Pectina e Propionato de Cálcio (A); Pressão, em kPa, e Propionato de Cálcio (B); Pectina e Pressão (C)

e isto é atribuído ao efeito da interação destes fatores entre si e provavelmente entre componentes da parede celular, reduzindo os danos mecânicos causados à estrutura celular e/ou

impedindo o crescimento de cristais de gelo na microestrutura. Isso porque o complexo pectina-cálcio formado atua como “cimento” intracelular, dando maior rigidez para o tecido vegetal (VAN BUGGENHOUT et al., 2006).

A Figura 4 mostra as superfícies de respostas para a variação percentual da textura de abacaxis após os tratamentos de impregnação a vácuo, congelamento e descongelamento com relação à resistência do fruto *in natura*.

As superfícies da Figura 4A demonstram que existe uma concentração ótima (em torno de 1,5 g de pectina /100 mL de solução) onde a funcionalidade da pectina é mais eficiente na preservação da textura de abacaxis descongelados. O efeito da interação entre a pectina e o propionato de cálcio pode ser observado, sendo a sua magnitude proporcional ao aumento da concentração de propionato de cálcio.

Este efeito é justificado tendo em vista a relação entre o cálcio e componentes da parede celular. Os elementos das cadeias de polissacarídeos pécnicos podem acondicionar-se de forma intermolecular em associação com o cálcio ou com outros cátions para formar géis. O cálcio se fixa dentro de cavidades entre as cadeias, ligando-se a grupos carboxilatos e a outros átomos de oxigênio eletronegativos que são ligantes favoráveis. A formação de géis de polissacarídeos pécnicos resulta em textura mais firme e aumento da estabilidade das interligações entre os componentes da parede celular (BRETT; WALDRON, 1990).

A Tabela 5 mostra os resultados da análise de variância utilizada para selecionar o modelo mais adequado para estudo da variável resposta caracterizada pela variação percentual da viscosidade após tratamento dos frutos por impregnação a vácuo e congelamento.

Tendo por base os resultados encontrados na Tabela 5 e considerando o nível de significância fixado em 5%, convém salientar que embora o erro da falta de ajuste fosse significativo (valor- $p < 0,05$), o que permite afirmar que existe um modelo de ordem superior que melhor se ajusta aos dados, considerou-se o modelo quadrático pelas seguintes razões: (a) Número de pontos experimentais não possibilita ajustar modelos de ordem maior, incluindo efeitos principais, interações duplas e triplas com efeitos quadráticos, simples e cúbicos, (b) interpretação biológica, ou seja, estimar pontos de curvatura o modelo quadrático é mais apropriado do que o modelo cúbico (c) regressão significativa (valor- $p < 0,05$).

A Figura 5 mostra as variações da viscosidade da solução após o descongelamento. A concentração de

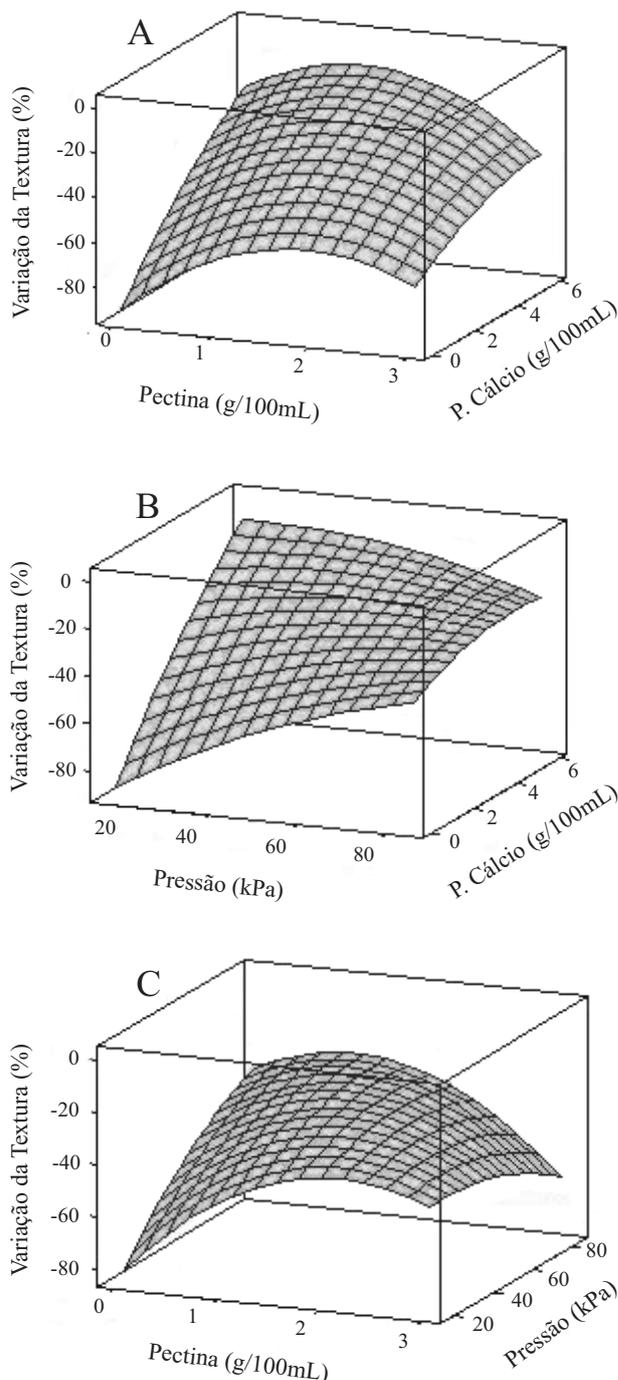


Figura 4 - Variação percentual da Textura em função da concentração (g/100 mL de solução) de Pectina e Propionato de Cálcio (A); Pressão, em kPa, e Propionato de Cálcio (B); Pectina e Pressão (C)

pectina exerce influência na viscosidade da solução, com as maiores perdas na viscosidade causada pelas concentrações de pectina, em torno de 1,5 g/100 mL de solução.

Tabela 5 - Análise de Variância para variação percentual da Viscosidade da solução após Congelamento/Descongelamento

Fonte	Graus de liberdade	Soma quadrática	Média quadrática	Nível de significância
Regressão	9	896,670	99,6301	0,004*
Linear	3	668,888	47,7197	0,045**
Quadrática	3	142,067	47,3555	0,046**
Interação	3	85,716	28,5719	0,123
Erro Residual	7	73,100	10,4429	
Falta de Ajuste	5	72,777	14,5555	0,011
Erro Puro	2	0,323	0,1614	
Total	16	969,771		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade

As Figuras 5A e 5B mostram a tendência de que os pontos onde ocorrem os menores valores de viscosidade são correspondentes àqueles onde ocorre máxima variação percentual de sólidos solúveis, mínima variação percentual de textura e mínima variação percentual de perda de fluido celular. O fator pressão não exerceu influência na variação percentual da viscosidade (Figura 5C).

No substrato ácido da fruta, a pectina é um colóide que contém cargas negativas. A adição de açúcar a esse substrato influencia o equilíbrio entre a pectina e a água, desestabilizando a pectina, formando uma malha semelhante a uma rede capaz de reter líquidos e aglutinar o açúcar sob a forma de um gel. A rigidez da malha é influenciada pela concentração de pectina, açúcar e pela acidez do meio. Quanto maior a concentração de açúcar menor quantidade de água livre será encontrada na estrutura, enrijecendo-a (SILVA, 2000).

A Tabela 6 mostra os resultados da análise de variância da variação percentual do teor de umidade dos frutos in natura e após congelamento/descongelamento. A regressão quadrática teve significância ao nível de 95%.

Tendo por base os resultados encontrados na Tabela 6 e considerando o nível de significância fixado em 5%, novamente optou-se pelo modelo quadrático (valor-p <0,05), conforme razões mencionadas na interpretação dos resultados da Tabela 5. Além do mais, nota-se que se considerarmos o nível de significância em 1%, a probabilidade do teste de falta de ajuste apresenta um resultado favorável à confirmação do ajuste do modelo quadrático.

Tabela 6 - Análise de Variância para variação percentual do Teor de Umidade após Congelamento/Descongelamento

Fonte	GL	Soma quadrática	Média quadrática	Nível de significância
Regressão	9	96,914	10,76819	0,003*
Linear	3	63,258	4,83165	0,049**
Quadrática	3	25,731	8,57697	0,012**
Interação	3	7,925	2,64154	0,154
Erro Residual	7	7,720	1,10289	
Falta de Ajuste	5	7,573	1,51461	0,047
Erro Puro	2	0,147	0,07362	
Total	16	104,634		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade

A Figura 6 mostra superfícies de respostas da variação percentual do teor de umidade após o descongelamento.

Observa-se na figura 6A que alta concentração de pectina e alta concentração de propionato de pectina e alta concentração de propionato de cálcio causam diminuição no teor de umidade das amostras. Isto também ocorreu nas amostras tratadas com alta pressão de vácuo (em torno de 80 kPa). A diminuição no teor de umidade é devido à presença da sacarose (20% de sacarose na solução, concentração fixa de sacarose presente em todos os tratamentos), ou seja, maior concentração de pectina auxilia a impregnação da sacarose no abacaxi, reduzindo o teor de umidade do fruto.

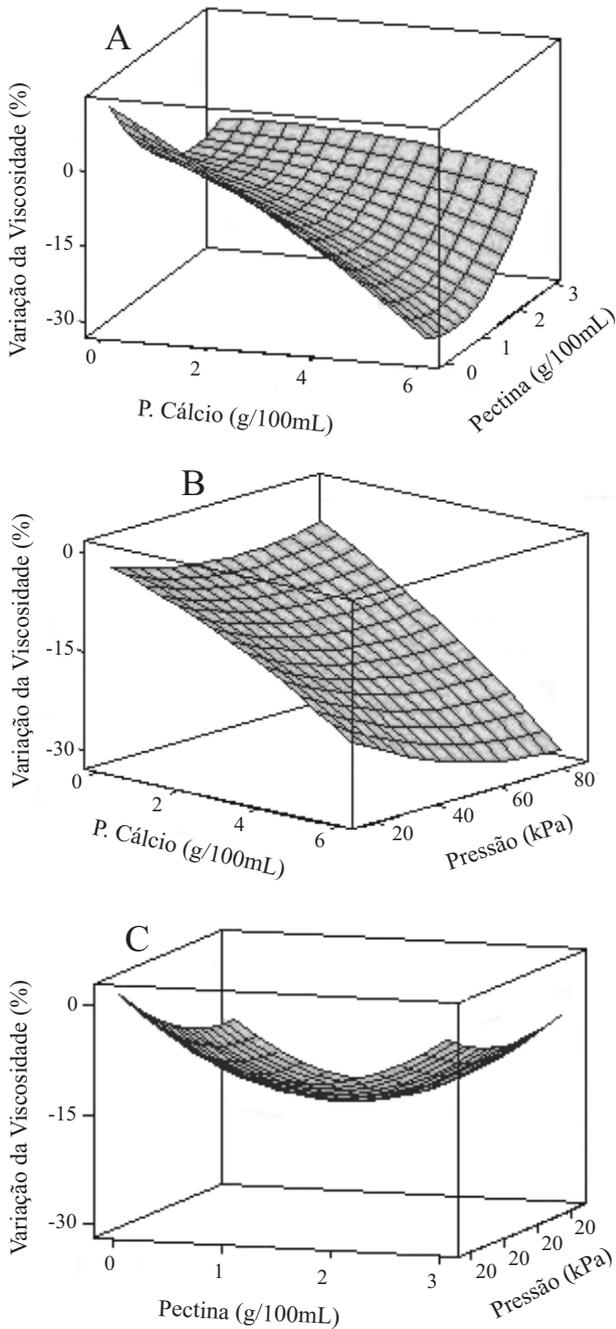


Figura 5 - Variação percentual da viscosidade da solução em função da concentração (g/100 mL de solução) de Pectina e Propionato de Cálcio (A); Pressão, em kPa, e Propionato de Cálcio (B); Pectina e Pressão (C)

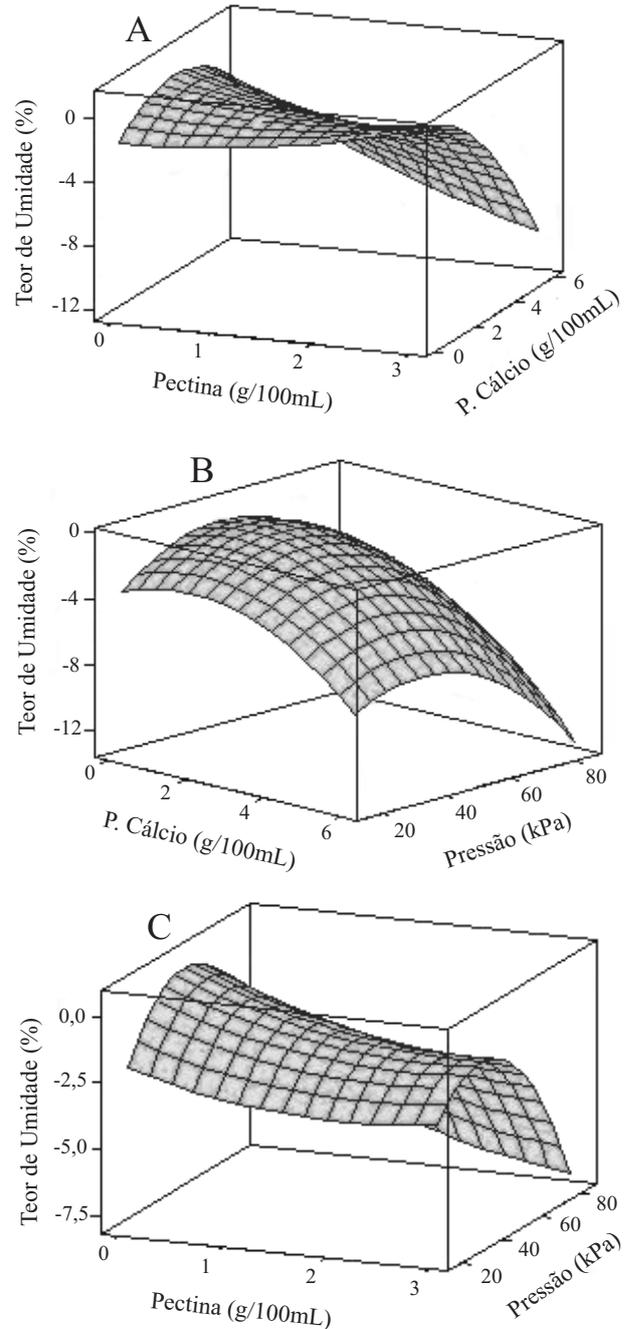


Figura 6 - Variação percentual do Teor de Umidade em função da concentração (g/100 mL de solução) de Pectina e Propionato de Cálcio (A); Pressão, em kPa, e Propionato de Cálcio (B); Pectina e Pressão (C)

Conclusões

O uso do propionato de cálcio mostrou-se efetivo e pode ser considerado como uma fonte de cálcio alternativa para a preservação da textura de abacaxis congelados.

Os resultados mostraram que é possível especificar combinações de concentrações de pectina e propionato de cálcio que desempenham funcionalidade resultando no aumento percentual do teor de sólidos solúveis, redução da perda de fluido celular e redução da perda de textura.

Um efeito interativo entre os fatores concentração de pectina e concentração de propionato de cálcio foi observado. Este efeito é o responsável pela manutenção das características dos pedaços de abacaxis. O aumento da concentração de pectina na solução facilitou a infusão da sacarose e diminuiu o teor de umidade após o congelamento/descongelamento. Exceto para o teor de umidade, a pressão não exerceu influência sobre os parâmetros medidos.

As superfícies de resposta também mostraram que a eficiência nesta funcionalidade é proporcional ao aumento da concentração de propionato de cálcio. Neste aspecto, deve-se salientar que o propionato de cálcio e o ácido propiônico são usados com certa atenção como agentes antimicrobiológicos em alimentos, com um limite superior especificado na legislação identificado somente para alguns alimentos.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro à pesquisa e a FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais) pela concessão de bolsa de estudo.

Referências

- AGUAYO, E.; ESCALONA, V. H.; ARTÉS, F. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. **Postharvest Biology and technology**, v. 47, n. 03, p. 397-406, 2008.
- ALZAMORA, S. M. *et al.* Structural changes in the minimal processing of fruits: Some effects of blanching and sugar impregnation. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. V. (Ed.). **Food engineering 2000**. New York: Chapman & Hall, 1997. p. 117-140.
- BRETT, C.; WALDRON, K. **Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls**. London: Unwin Hyman, 1990. 193 p.
- DELGADO, A. E.; RUBIOLO, A. C. Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**, v. 38, n. 02, p. 135-142, 2005.
- FENNEMA, O. R.; POWRIE, W. D.; MARTH, E. H. **Low-temperature preservation of foods and living**. New York: Marcel Dekker, 1973.
- FERNANDEZ, P. P. *et al.* Effects of locust bean, xanthan and guar gums on the ice crystals of a sucrose solution frozen at high pressure. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 04, p. 507-515, 2007.
- FORNI, E. *et al.* Influence of osmosis time on the quality of dehydrofrozen kiwifruit. **Acta Horticulturae**, n. 282, p. 425-433, 1987.
- JIE, W.; LITE, L.; YANG, D. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 04, p. 481-484, 2003.
- MANGANARIS, G. A. *et al.* The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. **Food Chemistry**, v. 100, n. 04, p.1385-1392, 2007.
- NIETO, A. *et al.* Air drying behavior of apples as affected by blanching and glucose impregnation. **Journal of Food Engineering**, v. 36, n. 01, p. 63-79, 1998.
- PAOLETTI, F.; MENESATTI, P. Effetto del Pretrattamento con Ca²⁺ sulla Texture di Mele Golden Delicious Congelate o Osmodisidrate. **Industrie Alimentari**, n. 32, p. 34-41, 1993.
- PEREIRA, L. M.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated guavas. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 01, p. 378-384, 2009.
- RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Frutos de melão submetidos a pré-tratamentos com hidrocolóides: efeitos do processo de congelamento sobre a microestrutura celular. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 03, p. 295-304, 2002.
- RESENDE, J. V.; RENO, M. J.; PRADO, M. E. T. Impregnação a vácuo de amido gelatinizado para a preservação da microestrutura de melões congelados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 10, n. 02, p. 86-95, 2007.
- RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas: Casa do Pão, 2005. 326 p.
- SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia dos alimentos**. São Paulo: Varela, 2000. 227 p.
- SOUSA, M. B. *et al.* Effect of processing on the texture and sensory attributes of raspberry (cv. Heritage) and blackberry (cv. Thornfree). **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 01, p. 9-21, 2007.
- VAN BUGGENHOUT, S. *et al.* Minimizing texture loss of frozen strawberries: effect of infusion with pectinmethylsterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions. **European Food Research Technology**, v. 223, n. 03, p. 395-404, 2006.
- VAN BUGGENHOUT, S. *et al.* Structure/processing relation of vacuum infused strawberry tissue frozen under different conditions. **European Food Research Technology**, v. 226, n. 03, p. 437-448, 2008.
- ZHAO, Y.; XIE, J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Food Science & Technology**, v. 15, n. 09, p. 434-451, 2004.