

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

REVENLI FERNANDA DO NASCIMENTO OSTROWSKI

**MECANISMOS PARA INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO EM BATATAS
PROCESSADAS TIPO PRONTA PARA O CONSUMO VISANDO UM PRODUTO
ORGÂNICO**

PONTA GROSSA

2022

REVENLI FERNANDA DO NASCIMENTO OSTROWSKI

**MECANISMOS PARA INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO EM BATATAS
PROCESSADAS TIPO PRONTA PARA O CONSUMO VISANDO UM PRODUTO
ORGÂNICO**

**Mechanisms for inhibition browning in ready-to-eat processed potatoes aiming
at an organic product**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Vitória Messias Bittencourt

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Sabrina Ávila Rodrigues

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



REVENLI FERNANDA DO NASCIMENTO OSTROWSKI

**MECANISMOS PARA INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO EM BATATAS PROCESSADAS TIPO PRONTA
PARA O CONSUMO VISANDO UM PRODUTO ORGÂNICO**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 23 de Fevereiro de 2022

Prof.a Juliana Vitoria Messias Bittencourt, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Maria Helene Giovanetti Canteri, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Alessandra Cristine Novak Sydney, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Ivo Mottin Demiate, Doutorado - Universidade Estadual de Ponta Grossa (Uepg)

Prof.a Luciana De Souza Neves Ellendersen, Doutorado - Hiddenfjord

Prof.a Sabrina Avila Rodrigues, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Sergio Mazurek Tebcherani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 23/02/2022.

Dedico esta tese ao meu esposo, Thiago,
ao meu filho, Mathias
e aos meus pais, Denílson e Dolores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pela sua bondade e pelo seu amor, por me moldar e me fortalecer a cada obstáculo; sem Ele eu não teria chegado até aqui.

Ao meu marido Thiago, por todo amor, cumplicidade, compreensão, apoio e incentivo, principalmente por estar sempre ao meu lado compartilhando e acreditando nos meus sonhos. Amo você!

Aos meus pais, Denílson e Dolores, por todo carinho e apoio incondicional. Amo vocês!

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Juliana Vitória Messias Bittencourt, por ter me recebido de braços abertos, por me orientar e me dar todo o suporte necessário para o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha orientadora e amiga, Prof.^a Dr.^a Maria Helene Giovanetti Canteri, pelo carinho, dedicação, atenção, ensinamentos, paciência e confiança. Você é um exemplo de mulher e pesquisadora!

À minha coorientadora, Prof.^a Dr.^a Sabrina Ávila Rodrigues, pela orientação, dedicação e todo conhecimento compartilhado.

À Prof.^a Dr.^a Alessandra Cristine Novak Sydney, pelo auxílio, atenção, disponibilidade e ensinamentos.

Aos professores, membros da banca examinadora, pelo aceite e contribuições indispensáveis a este trabalho.

A todos os professores e servidores administrativos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UTFPR Campus Ponta Grossa,

À empresa de processamento de vegetais e aos funcionários do departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, que abriram as portas e me auxiliaram na realização deste trabalho.

A todos, que direta ou indiretamente contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida durante o período de curso, fonte de financiamento 001.

MUITO OBRIGADA!

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”.
(Albert Einstein)

RESUMO

O processamento tradicional de batata pronta para o consumo está baseado no uso do metabissulfito de sódio (MBS) para evitar as reações de escurecimento. Contudo, existem vários atributos negativos associados a utilização do MBS em alimentos, sendo este o principal fator limitante enfrentado pelas indústrias de vegetais interessadas em obter a certificação orgânica para a sua linha de produtos processados. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes mecanismos de inibição do escurecimento em batatas processadas prontas para o consumo alternativos ao uso do MBS. O planejamento experimental em delineamento composto central rotacional (DCCR) foi usado para determinar as condições ideais de pH e atividade de água (a_w) para o processamento de batatas e para estudar o efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento. O processo de fermentação láctica foi investigado como mecanismo de redução do escurecimento não enzimático em batatas processadas. Por fim, foram selecionados os melhores tratamentos das etapas anteriores e avaliado o efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química e intensidade da reação de Maillard em batata processada durante o armazenamento por dois meses. Tanto a modelagem quantitativa quanto a metodologia da superfície de resposta sugeriram que pH 5 e a_w 0,99 foram os parâmetros mais eficazes para controlar o escurecimento provocado pela reação de Maillard em batatas processadas. A otimização simultânea mostrou mitigação máxima da formação de melanoidinas e compostos intermediários em batatas processadas em concentrações de 0,125% de cisteína e 0,0625% de glicina betaína. O processo de fermentação láctica por *Lactobacillus acidophilus* reduziu significativamente ($p < 0,05$) a formação de compostos intermediários e de compostos escuros do estágio final da reação de Maillard nas batatas processadas, efeito intensificado conforme se ampliou o tempo de fermentação de 45 para 180 ou 240 minutos. O efeito combinado dos mecanismos anti-escurecimento revelou que os tratamentos T5, T6, T7 e T8 reduziram significativamente a intensidade da reação de Maillard em batatas processadas pronta para o consumo, mantendo a qualidade físico-química, cor e textura das batatas comparável as mergulhadas em MBS com estabilidade durante o armazenamento. No entanto o tratamento biológico por 45 minutos não influenciou significativamente quando combinado com os tratamentos químicos. Assim, foi proposta uma combinação de fatores definidos de acordo as condições específicas do processamento de batatas prontas para o consumo alternativa ao uso do MBS, viabilizando a disponibilidade de produtos orgânicos ou ainda produtos convencionais mais saudáveis e sustentáveis.

Palavras-chave: batata processada; reação de Maillard; pH; a_w ; cisteína; glicina betaína; fermentação.

ABSTRACT

The traditional ready-to-eat potato processing is based on the use of sodium metabisulfite (MBS) to avoid browning reactions. However, there are several negative attributes associated with the use of MBS in food, being the main limiting factor by vegetable industries interested in obtaining organic certification for their line of processed products. In this context, the objective of this work was to evaluate different mechanisms of inhibition of browning in ready-to-eat processed potatoes as alternative to the use of MBS. The experimental design in central composite rotational design (DCCR) was used to determine the ideal conditions of pH and a_w for the processing of potatoes and to study the effect of cysteine and glycine betaine as anti-browning agents. The lactic fermentation process was investigated as a mechanism for reduction non-enzymatic browning in processed potatoes. Finally, the best treatments of the previous stages were selected and the individual and combined effect of chemical and biological immersion on the physicochemical quality and intensity of the Maillard reaction in processed potato during storage for two months was evaluated. Both quantitative modeling and response surface methodology suggested that pH 5 and a_w 0.99 were the most effective parameters of to control Maillard browning in processed potatoes. Simultaneous optimization showed maximum mitigation of the formation of melanoidins and intermediate compounds in processed potatoes at concentrations of 0.125% cysteine and 0.0625% of glycine betaine. The lactic fermentation process by *Lactobacillus acidophilus* significantly reduced ($p < 0.05$) the formation of intermediate compounds and brown compounds from the final stage of the Maillard reaction in processed potatoes, an effect intensified as the fermentation time increased to 45 for 180 or 240 minutes. The combined effect of the anti-browning mechanisms revealed that treatments T5, T6, T7 and T8 significantly reduced the intensity of the Maillard reaction in ready-to-eat processed potatoes, maintaining the physicochemical quality, color, and texture of potatoes comparable to those dipped in MBS with stability during storage. However, biological treatment for 45 minutes did not significantly influence when combined with chemical treatments. Thus, a combination of factors defined according to specific conditions of the processing of ready-to-eat potatoes alternative to the use of MBS was proposed, enabling the availability of organic products or even healthier and more sustainable conventional products.

Keywords: processed potatoes; Maillard reaction; pH; a_w ; cysteine; glycine betaine; fermentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do sistema de produção industrial da batata processada pronta para o consumo.....	29
Figura 2 - Localização dos compostos fenólicos e da polifenoloxidase em uma célula vegetal.....	32
Figura 3 - Reação de escurecimento enzimático via transformação da tirosina em melanina.....	33
Figura 4 - Esquema da Reação de Maillard	36
Figura 5 - Etapas do desenvolvimento experimental desta pesquisa.....	55
Figura 6 - Etapas do desenvolvimento experimental para otimização do pH e a_w em batatas processadas	57
Figura 7 - Etapas do desenvolvimento experimental para o estudo do efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas.....	62
Figura 8 - Etapas do desenvolvimento experimental da fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático em batatas processadas	63
Figura 9 - Etapas do desenvolvimento experimental para avaliar o efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química e intensidade da reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento	67
Figura 10 - Aparência de batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático	113
Figura 11 - Batatas processadas embaladas a vácuo tratadas por imersão química e/ou biológica após 1 dia e 60 dias de armazenamento	133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores observados e valores previstos para os modelos propostos para Luminosidade (a), coordenada a* (b) e coordenada b* (c) do DCCR para estimativa do efeito do pH e a_w no escurecimento de batatas processadas.....	77
Gráfico 2 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação da Luminosidade (L^*) em batatas processadas	78
Gráfico 3 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação da coordenada de cor a* em batatas processadas	79
Gráfico 4 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação da coordenada de cor b* em batatas processadas	80
Gráfico 5 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de escurecimento do DCCR para estimativa do efeito do pH e a_w no escurecimento de batatas processadas	83
Gráfico 6 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação do índice de escurecimento em batatas processadas.....	84
Gráfico 7 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de compostos intermediários do DCCR para estimativa do efeito do pH e a_w no escurecimento de batatas processadas	88
Gráfico 8 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação do índice de compostos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas	88
Gráfico 9 - Perfil de desejabilidade para otimização do pH e a_w para minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor das batatas processadas.....	91
Gráfico 10 - Perfil de desejabilidade para otimização do pH e a_w para minimização dos efeitos das variáveis dependentes da reação de Maillard em batatas processadas	93
Gráfico 11 - Valores observados e valores previstos para os modelos propostos para Luminosidade (a), coordenada a* (b) e coordenada b* (c) do DCCR para estimativa do efeito da cisteína e glicina betaína no escurecimento de batatas processadas ...	98
Gráfico 12 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação da Luminosidade (L^*) em batatas processadas	99
Gráfico 13 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação da coordenada de cor a* em batatas processadas.....	99
Gráfico 14 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação da coordenada de cor b* em batatas processadas.....	100
Gráfico 15 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de escurecimento do DCCR para estimativa do efeito da cisteína e glicina betaína no escurecimento de batatas processadas	103
Gráfico 16 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação do índice de escurecimento em batatas processadas	103

Gráfico 17 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de compostos intermediários do DCCR para estimativa do efeito da cisteína e glicina betaína no escurecimento de batatas processadas	106
Gráfico 18 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação do índice de compostos intermediários em batatas processadas	107
gráfico 19 - Perfil de desejabilidade para otimização da cisteína e glicina betaína no processamento de batatas	109
Gráfico 20 - Resultados obtidos para carboidratos em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz do planejamento experimental com níveis codificados e reais para otimização do pH e a_w no processamento de batatas	57
Tabela 2 - Matriz do planejamento experimental com níveis codificados e reais para estudar efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas	61
Tabela 3 - Resultados obtidos para as variáveis dependentes do planejamento experimental para estimativa do efeito do pH e a_w escurecimento em batatas processadas	71
Tabela 4 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito do pH e a_w nas variáveis dependentes do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ para estimativa do escurecimento em batatas processadas	74
Tabela 5 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito do pH e a_w na variável índice de escurecimento para minimização do escurecimento em batatas processadas	81
Tabela 6 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito do pH e a_w na variável índice de compostos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas	86
Tabela 7 - Parâmetros utilizados na otimização simultânea do pH e a_w para minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor de batatas processadas	91
Tabela 8 - Resultados obtidos para as variáveis dependentes do planejamento experimental para estimativa do efeito da cisteína e da glicina betaína no escurecimento em batatas processadas	94
Tabela 9 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito da cisteína e glicina betaína nas variáveis do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ para estimativa do escurecimento em batatas processadas	96
Tabela 10 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito da cisteína e glicina betaína na variável índice de escurecimento para estimativa do escurecimento em batatas processadas	101
Tabela 11 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito da cisteína e glicina betaína na variável índice de compostos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas	104
Tabela 12 - Parâmetros utilizados na otimização simultânea da cisteína e glicina betaína para minimização da intensidade da reação de Maillard em de batatas processadas	108
Tabela 13 - Resultados obtidos para sólidos solúveis totais, pH e açúcares redutores totais em batatas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático	110
Tabela 14 - Resultados encontrados para acidez total titulável, cor ($L^* a^* b^*$), índice de escurecimento e índice de compostos intermediários em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático.	112

Tabela 15 - Correlação de Pearson entre as variáveis cor (L^* a^* b^*), índice de escurecimento, índice de compostos intermediários e açúcares redutores totais em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático	114
Tabela 16 - Resultado da Análise do Perfil de Textura realizada em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático	117
Tabela 17 - Resultados obtidos para sólidos solúveis totais, açúcares redutores totais, pH e a_w em batatas submetidas a imersão química e/ou biológica para redução do escurecimento não enzimático	120
Tabela 18 - Resultados obtidos para umidade e cinzas em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	122
Tabela 19 - Resultados obtidos para lipídios e proteínas em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	124
Tabela 20 - Resultados obtidos para fibras insolúveis e solúveis em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	125
Tabela 21 - Resultados obtidos para açúcares redutores totais e compostos fenólicos em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	126
Tabela 22 - Resultados obtidos para sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	130
Tabela 23 - Resultados obtidos para pH em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	131
Tabela 24 - Resultados obtidos para acidez total titulável em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	132
Tabela 25 - Resultados obtidos para cor instrumental (L^* a^* b^*) em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	134
Tabela 26 - Resultados obtidos para o índice de escurecimento em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	137
Tabela 27 - Resultados obtidos para o índice de compostos intermediários em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	138
Tabela 28 - Resultado da Análise do Perfil de Textura realizada em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento	141
Tabela 29 - Resultados brutos da revisão sistemática de literatura	170
Tabela 30 - Procedimentos de filtragem adotados no portfólio bibliográfico	171

Tabela 31 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Alimentos Orgânicos pelo Methodi Ordinatio	172
Tabela 32 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Batata Processada pelo Methodi Ordinatio	174
Tabela 33 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Escurecimento Enzimático pelo Methodi Ordinatio	175
Tabela 34 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Escurecimento Não Enzimático pelo Methodi Ordinatio	177
Tabela 35 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Metabissulfito de Sódio (MBS) pelo Methodi Ordinatio	179
Tabela 36 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Cisteína pelo Methodi Ordinatio.....	181
Tabela 37 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Glicina Bataína pelo Methodi Ordinatio.....	183

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 JUSTIFICATIVA	19
1.3 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO PARA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 ALIMENTOS ORGÂNICOS	23
2.1.1 Alimentos Orgânicos Processados	25
2.2 BATATA PROCESSADA INDUSTRIALMENTE	27
2.3 REAÇÕES DE ESCURECIMENTO	31
2.3.1 Escurecimento Enzimático	31
2.3.2 Escurecimento Não Enzimático	35
2.3.2.1 Parâmetros que afetam a reação Maillard	39
2.4 AGENTES INIBIDORES DE ESCURECIMENTO	42
2.4.1 Metabissulfito de Sódio (MBS)	42
2.4.1.1 Problemas associados ao uso do metabissulfito de sódio (MBS)	45
2.4.2 Cisteína	48
2.4.3 Glicina Betaína	50
3 MATERIAL E MÉTODOS	54
3.1 REVISÃO DE LITERATURA	54
3.2 MATÉRIA-PRIMA	54
3.3 ETAPAS EXPERIMENTAIS	54
3.3.1 Otimização Do pH E A_w em Batatas Processadas	56
3.3.1.1 Mensuração da taxa de escurecimento da reação de Maillard	58
3.3.1.2 Análise estatística	59
3.3.2 Efeito da Cisteína e da Glicina Betaína como Agentes Anti-Escurecimento em Batatas Processadas	60
3.3.3 Fermentação Lática para Redução do Escurecimento Não Enzimático em Batatas Processadas	62
3.3.3.1 Inóculo bacteriano	63

3.3.3.2	Preparação da amostra e fermentação	64
3.3.3.3	Controle de qualidade	64
3.3.3.4	Análise estatística	66
3.3.4	Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica sobre a Qualidade Físico-Química e Intensidade da Reação de Maillard em Batata Processada Pronta para o Consumo Durante o Armazenamento.....	66
3.3.4.1	Controle de qualidade	69
3.3.4.2	Análise estatística	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1	OTIMIZAÇÃO DO pH E A_w EM BATATAS PROCESSADAS	71
4.1.1	Modelagem de Superfície de Resposta para o Efeito do pH e A_w na Variação da Cor Instrumental em Batata Processada.....	74
4.1.2	Modelagem de Superfície de Resposta para do Efeito do pH e A_w na Variação do Índice de Escurecimento em Batata Processada	81
4.1.3	Modelagem de Superfície de Resposta para o Efeito do pH e A_w na Variação do Índice de Compostos Intermediários em Batata Processada	85
4.1.4	Perfil de Desejabilidade para Minimização dos Efeitos da Reação de Maillard na Cor das Batatas Processadas	90
4.2	EFEITO DA CISTEÍNA E DA GLICINA BETAÍNA COMO AGENTES ANTI-ESCURECIMENTO EM BATATAS PROCESSADAS	94
4.2.1	Modelagem de Superfície de Resposta para o Efeito da Cisteína e Glicina Betaína na Variação da Cor Instrumental em Batata Processada	95
4.2.2	Modelagem de Superfície de Resposta para do Efeito da Cisteína e Glicina Betaína na Variação do Índice de Escurecimento em Batata Processada.....	101
4.2.3	Modelagem de Superfície de Resposta para do Efeito da Cisteína e Glicina Betaína na Variação do Índice de Compostos Intermediários em Batata Processada	104
4.2.4	Perfil de Desejabilidade para Otimização da Cisteína e Glicina Betaína no Processamento de Batatas	108
4.3	FERMENTAÇÃO LÁTICA PARA REDUÇÃO DO ESCURECIMENTO NÃO ENZIMÁTICO EM BATATAS PROCESSADAS	110
4.3.1	Efeito da Fermentação Lática no Teor de Sólidos Solúveis Totais, pH e Açúcares Redutores Totais em Batatas Antes do Processamento Térmico	110
4.3.2	Efeito da Fermentação Lática na Redução do Escurecimento Provocado Pela Reação de Maillard em Batatas Processadas.....	112
4.3.3	Efeito da Fermentação Lática no Perfil de Textura de Batatas Processadas.....	116
4.4	EFEITO INDIVIDUAL E COMBINADO DA IMERSÃO QUIMICA E BIOLÓGICA SOBRE A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E INTENSIDADE DA REAÇÃO DE	

MAILLARD EM BATATA PROCESSADA PRONTA PARA O CONSUMO DURANTE O ARMAZENAMENTO.....	120
4.4.1 Efeito da Imersão Química e Biológica no Teor de Sólidos Solúveis Totais, Açúcares Redutores Totais, pH e A_w em Batatas Antes do Processamento Térmico	120
4.4.2 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica na Qualidade Físico-Química Da Batata Processada Pronta para o Consumo Durante o Armazenamento	121
4.4.3 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica na Intensidade da Reação de Maillard em Batata Processada Pronta Para o Consumo Durante o Armazenamento	133
4.4.4 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica no Perfil de Textura Da Batata Processada Pronta Para o Consumo Durante o Armazenamento	140
5 CONCLUSÕES	145
REFERÊNCIAS.....	148
APÊNDICE A – Revisão Sistemática de Literatura utilizando <i>Methodi Ordinatio</i>	168

1 INTRODUÇÃO

O interesse crescente por sistemas de produção ambientalmente sustentáveis, bem como a busca por alimentos saudáveis que possam melhorar a qualidade de vida, têm intensificado a demanda por produtos frescos e processados provenientes da agricultura orgânica. De acordo com Sahota (2021), as vendas globais de alimentos e bebidas orgânicas expandiram 533% de 2000 a 2019.

Entre os vegetais orgânicos apreciados pelos consumidores destacam-se as batatas, consideradas mais saudáveis e saborosas do que a versão convencional. O setor de produtos processados de batata com alto valor agregado tem ganhado a preferência dos consumidores por oferecerem conveniência e praticidade durante a preparação das refeições, levando a um rápido crescimento da demanda por batatas processadas orgânicas. No entanto, a oferta de produtos processados de batata que apresentam certificação orgânica não é algo comum no mercado de industrializados, uma vez que o processamento tradicional de vegetais depende do uso de diferentes aditivos alimentares para manter a qualidade do produto. Esse é o principal fator limitante enfrentado pelas indústrias de vegetais interessadas em obter a certificação orgânica para a sua linha de produtos processados.

Esta tese concentra-se especificamente no processamento e na qualidade de batata comercializada cozida, inteira e embalada a vácuo, ou seja, pronta para o consumo, em virtude de uma parceria de pesquisa realizada com uma indústria de alimentos que deseja comercializar a versão orgânica do seu produto convencional. Essa indústria está presente no mercado desde 1995, localizada no Paraná, na região dos Campos Gerais, com uma infraestrutura de 11 mil m² e capacidade instalada para produção de mais de 10 mil toneladas de alimentos por ano, que atendem ao mercado nacional e internacional.

Durante o processamento das batatas prontas para o consumo, as lesões teciduais, causadas pelos processos mecânicos de descascamento e corte, induzem o desenvolvimento das reações relacionadas ao escurecimento enzimático, bem como o tratamento térmico empregado durante o cozimento induz as reações do tipo não enzimático. Essas reações são responsáveis pela degradação da coloração amarela, além de alterações de sabor, textura e valor nutricional das batatas, interferindo negativamente na qualidade final do produto.

Para evitar tais interferências as indústrias de processamento de batata têm utilizado o metabissulfito de sódio (MBS), antioxidante altamente eficaz para inibir ambas as reações de escurecimento, principalmente não enzimáticas, ainda não completamente elucidadas, limitando o desenvolvimento de soluções eficazes para prevenir a formação de cor e mitigar a deterioração da qualidade durante o processamento térmico. Em contrapartida, a toxicidade do MBS em função do dióxido de enxofre (SO₂) tem sido correlacionado a reações adversas à saúde humana, destruição do valor nutricional e alterações nas propriedades sensoriais dos alimentos, além de reduzir a vitalidade e sobrevivência de animais e plantas expostos a esse composto.

Em vista disso, o MBS tem seu uso restrito em uma ampla gama de produtos alimentícios apresentados aos consumidores, incluindo os orgânicos e os frescos. Portanto, retirá-lo do processamento de batatas prontas para o consumo tornou-se um grande desafio de interesse tecnológico para as indústrias de alimentos, tendo em vista a necessidade de atender as exigências dos consumidores por produtos convencionais comprometidos com o bem-estar humano e ambiental, bem como para obter a certificação orgânica, aliando a praticidade do seu produto com os benefícios da agricultura orgânica e ampliando a vantagem competitiva neste setor.

Desta forma, este trabalho busca inovações tecnológicas que possam substituir o uso do MBS no processamento industrial de batatas sem comprometer a qualidade do produto. Para tanto, acredita-se ser necessária uma combinação de métodos e agentes inibidores de escurecimento, determinados de acordo com as especificidades de cada sistema de produção industrial de batatas pronta para o consumo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar diferentes mecanismos de inibição do escurecimento, alternativos ao uso do metabissulfito de sódio, em batatas processadas tipo pronta para o consumo.

1.1.2 Objetivos Específicos

Determinar as condições ideais de pH e atividade de água (a_w) para o processamento das batatas prontas para o consumo por meio da otimização em delineamento composto central rotacional;

Estudar o efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas prontas para o consumo;

Investigar a fermentação láctica como mecanismo para redução do escurecimento em batatas processadas pronta para o consumo;

Avaliar o efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química e intensidade da reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Esta tese faz parte de um projeto de pesquisa colaborativa entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa e uma agroindústria de processamento de alimentos, localizada no Paraná, na região dos Campos Gerais. Essa parceria iniciou-se em 2015 quando o objetivo foi reduzir a concentração de MBS no processamento industrial de batatas (NASCIMENTO, 2017). Atualmente, a indústria tem interesse em retirar o MBS do processamento de batatas visando, sobretudo, expandir a sua linha de produção para atender a demanda do mercado de produtos orgânicos. Esse grande interesse por parte das indústrias de alimentos deve-se principalmente ao rápido crescimento de vendas de produtos orgânicos em vários segmentos, incluindo, bebidas, lácteos, carnes, grãos, processados e até mesmo condimentos. (ELLISON *et al.*, 2016; SAHOTA, 2021).

Esse cenário econômico está associado às preocupações com a qualidade nutricional dos alimentos, bem como aos aspectos ambientais, pois a agricultura orgânica caracteriza-se pela ausência de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos. Desta forma, os consumidores avaliam os alimentos orgânicos mais positivamente do que os convencionais, em aspectos relacionados à nutrição e segurança alimentar e ambiental; além disso, a confiança da marca é aumentada quando comercializa produtos orgânicos (ELLISON *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2013; PRADA; GARRIDO; RODRIGUES, 2017).

No entanto, no setor de vegetais processados, especificamente nesse estudo, o de batatas prontas para o consumo, o MBS utilizado para inibir as reações, tanto de

escurecimento enzimático quanto do não enzimático, tem dificultado o processamento da versão orgânica, uma vez que ao eliminar esse aditivo do processo as reações de escurecimento interferem negativamente na qualidade final do produto.

A literatura relacionada a possíveis alternativas ao MBS, trata principalmente das reações de escurecimento enzimático, com poucos estudos voltados ao escurecimento não enzimático, e ainda menos quando se refere à associação de ambas as reações em um mesmo sistema de processamento alimentar. Dentre compostos e métodos para substituir o MBS, podem ser citados o uso de aminoácidos (ALI *et al.*, 2016; MENG *et al.*, 2022), ácido peroxiacético, sulfato de sódio, ozônio (BELTRÁN *et al.*, 2005; CALDER *et al.*, 2011), asparaginase, extrato antioxidante de chá verde (CAPUANO *et al.*, 2009), ácido ascórbico, ácido cítrico, revestimento comestível, branqueamento, atmosfera modificada (CEROLI *et al.*, 2018; MA *et al.*, 2010; PETRI *et al.*, 2008; ROCCULI *et al.*, 2007); extrato de casca de mamão (FAIQ; THEERAKULKAIT, 2017); ácido γ -aminobutírico (GAO *et al.*, 2018); extratos de farelo de arroz e seus compostos fenólicos (SUKHONTHARA; KAEWKA; THEERAKULKAIT, 2016). Além disso, as possíveis alternativas aos sulfitos geralmente fornecem uma gama mais limitada de benefícios, menos eficazes, principalmente, quando se busca o controle do escurecimento não enzimático. Adicionalmente não foram encontrados estudos relativos a um sistema de produção industrial específico.

Assim, considera-se que cada linha de produção alimentar deve ser explorada individualmente, na busca de uma combinação de fatores que permitam efetivamente substituir o MBS. A integração de diferentes métodos de mitigação das reações de escurecimento, definidos de acordo com condições específicas de processamento de cada produto, pode trazer soluções para inibir e/ou controlar as mudanças prejudiciais causadas pelas reações de escurecimento, possibilitando a disponibilidade de produtos orgânicos ou ainda produtos convencionais mais saudáveis e sustentáveis.

Com isso, este trabalho justifica-se devido à importância industrial de retirar o MBS do processamento de batatas, possibilitando a certificação orgânica do produto processado a partir da matéria-prima orgânica. Além disso, o interesse em retirar o MBS do processamento de alimentos não se limita a produtos orgânicos, uma vez que podem ser oferecidos produtos convencionais com maior responsabilidade social e ambiental. Adicionalmente a maior oferta de produtos orgânicos beneficiará não

somente a indústria interessada, mas também os consumidores e produtores regionais.

Por fim, todas as implicações associadas ao MBS reforçam a importância acadêmica desta tese, que busca contribuir com a literatura, ressaltando a necessidade de tratar cada linha de produção alimentar de forma individualizada buscando primeiramente uma solução local para substituir o MBS, futuramente capaz de ser expandida para outras linhas de produtos ou sistemas alimentares, a partir de novas pesquisas.

1.3 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO PARA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Esta tese está vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, pertencendo a área de Gestão Industrial e associada ao grupo de pesquisa Gestão da Inovação Agroindustrial (GIA). O escopo de pesquisa do GIA abrange o desenvolvimento de tecnologias, métodos e ferramentas para auxiliar na resolução das dificuldades e limitações encontradas na cadeia de produção agroindustrial.

Conforme as áreas do conhecimento estabelecida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), este trabalho encontra-se inserido dentro da Engenharia de Produção, na área da Gerência da Produção, subárea Garantia de Controle de Qualidade, referente ao planejamento, projeto e o controle dos sistemas produtivos, com foco na gestão da qualidade.

Desta maneira, a presente pesquisa proporciona o avanço nos processos de melhorias do sistema produtivo de batatas prontas para o consumo, com a integração de um conjunto de métodos e/ou técnicas de conservação de alimentos visando substituir o MBS sem afetar os parâmetros de qualidade do produto. Assim, a pesquisa contribuirá para o aumento da disponibilidade de produtos orgânicos no mercado, beneficiando produtores orgânicos devido ao aumento da demanda por seus produtos agrícolas.

É importante mencionar a contribuição social deste trabalho, no favorecimento da redução do MBS presente em alimentos, aditivo alergênico associado a inúmeras reações adversas a saúde humana. Adicionalmente ao retirá-lo do processo produtivo

de batata, reduz-se o risco de contaminação ambiental na região onde se localiza a empresa parceira deste estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ALIMENTOS ORGÂNICOS

No início do século XX, as principais preocupações da sociedade em relação a agricultura eram a quantidade produzida e o valor comercializado, com o objetivo de aumentar e manter os rendimentos, com redução dos preços no varejo. No entanto, a partir do final do século XX, a consciência do impacto do desenvolvimento industrial e agrícola no planeta (poluição da água, do solo e do ar e aumento de resistência de pragas e doenças), bem como interesse crescente da população em relação à saúde pessoal levaram os consumidores, pesquisadores, agricultores e governos a levar mais em consideração a agricultura orgânica (BARET, 2017; DJAMAN *et al.*, 2021; MAGKOS; ARVANITI; ZAMPELAS, 2003). Assim, atualmente espera-se que a agricultura forneça alimentos suficientes para alimentar uma população em crescimento, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente, fornecendo qualidade, diversidade de produtos e benefícios a saúde (KNISS; SAVAGE; JABBOUR, 2016).

Diante de tais expectativas para a agricultura mundial, a sustentabilidade dos sistemas convencionais de cultivo passou a ser criticada (BRAZINSKIENE *et al.*, 2014), pois apresentam alto custo de produção e forte dependência de recursos não renováveis, causam redução da biodiversidade, contribuem para contaminação da água e degradação do solo, oferecem riscos à saúde dos trabalhadores rurais que lidam com pesticidas, além da possibilidade da permanência de resíduos químicos nos alimentos e no próprio ambiente (GALNAITYTĖ *et al.*, 2017; HARRAQ *et al.*, 2021; KWIATKOWSKI; HARASIM, 2020). Tais impactos ambientais e sanitários da agricultura convencional foram os principais impulsionadores do aumento da demanda por alimentos orgânicos (BARANSKI *et al.*, 2014).

Uma definição completa para alimentos orgânicos é fornecida pela Lei nº 10831, de 23 de dezembro de 2003, na qual “alimentos orgânicos, sejam eles *in natura* ou processados, referem-se a àqueles obtidos em sistema orgânico de produção agropecuário ou oriundo de processo extrativista sustentável e não prejudicial ao ecossistema local”. Enquadra-se como sistema orgânico de produção todo aquele que não utiliza agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente

modificados ou radiações ionizantes em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização.

Assim sendo, a agricultura orgânica é considerada um sistema de produção sustentável, visto que a proteção ambiental é resultante da restrição ou proibição do uso de certas substâncias onerosas, especialmente fertilizantes nitrogenados sintéticos e pesticidas, passíveis de serem substituídos por esterco, biofertilizantes ou adubo verde (ANTOSOVSKY *et al.*, 2017; DJAMAN *et al.*, 2021; KWIATKOWSKI; HARASIM, 2020). Dessa maneira, é possível reduzir a taxa de ecotoxicidade e poluição dos ecossistemas, proteger a biodiversidade, melhorar a qualidade do solo, bem como diminuir o consumo de recursos fósseis e minerais, posto que esta prática agrícola depende principalmente de recursos internos da fazenda (GALNAITYTĖ *et al.*, 2017). Corroborando com o descrito Schrama *et al.* (2018), ao compararem sistemas agrícolas orgânicos e convencionais durante treze anos na Holanda, indicam que o cultivo orgânico promove valores mais altos de pH, mineralização de nutrientes, disponibilidade de nutrientes e abundância de biota no solo, além da melhoria de sua estrutura com maiores concentrações de matéria orgânica e redução das concentrações de nitrato da água subterrânea.

Apesar dos inúmeros benefícios ambientais, a agricultura orgânica ainda é criticada devido ao menor rendimento comparado aos sistemas convencionais, o que se configura como um dos principais desafios para a intensificação desse sistema de cultivo (KNISS; SAVAGE; JABBOUR, 2016). Brazinskiene *et al.* (2014), ao estudarem o impacto da agricultura convencional e orgânica durante dois anos no rendimento de cinco variedades de tubérculos de batata, evidenciam que a produtividade da agricultura convencional é aproximadamente o dobro da obtida em sistemas orgânicos. Em contrapartida, diversos autores (DAS *et al.*, 2017; MÄDER *et al.*, 2002; PATRA *et al.*, 2017; SCHRAMA *et al.*, 2018) argumentam que, a longo prazo, a diferença de produtividade entre os sistemas orgânicos e convencionais tende a diminuir, podendo inclusive atingir o mesmo patamar. Schrama *et al.* (2018) relatam que nos primeiros anos os rendimentos do sistema de agricultura orgânico eram mais baixos, mas se aproximavam dos sistemas convencionais após dez a treze anos, ao mesmo tempo em que exigiam menores insumos de nitrogênio.

Além dos aspectos ambientais e econômicos voltados à agricultura orgânica, outro fator primordial que assume maior importância entre os consumidores são as questões relacionadas com a saúde (MAGKOS; ARVANITI; ZAMPELAS, 2003;

MAGNUSSON *et al.*, 2001). Hoefkens *et al.* (2009) revelam que os vegetais orgânicos são percebidos como contendo menos contaminantes e mais nutrientes, sendo mais saudáveis e seguros em comparação aos convencionais. Nesse contexto, Baranski *et al.* (2014) baseados em uma metanálise com 343 publicações afirmam que a concentração de diversos antioxidantes (ácidos fenólicos, flavanonas, estilbenos, flavonas, flavonóis e antocianinas) é significativamente maior em culturas orgânicas, enfatizando que a mudança do consumo convencional para orgânico resultaria em 20 a 40% de aumento nos níveis de ingestão de antioxidantes sem aumento simultâneo de energia. Um estudo recente desenvolvido por dos Santos *et al.* (2019) mostra que a batata doce cultivada organicamente apresenta maior teor de cálcio, potássio, fósforo, ferro, cobre e zinco do que a convencionalmente produzida.

Em função dos aspectos ambientais e nutricionais positivos, no decorrer dos últimos anos, o setor de alimentos orgânicos tem sido um dos segmentos de crescimento mais rápido no mundo (GALNAITYTĖ *et al.*, 2017; THØGERSEN *et al.*, 2017). De acordo com Sahota (2021), as vendas globais de alimentos e bebidas orgânicas expandiram-se de aproximadamente 21 bilhões de dólares em 2000 para 112 bilhões de dólares em 2019. Destaca-se ainda que as vendas de alimentos orgânicos estão aumentando durante a pandemia do coronavírus, acelerando essa tendência à medida que mais mercados regionais para alimentos orgânicos se desenvolvam, em particular, em países em desenvolvimento como China, Índia, Brasil e Indonésia (SAHOTA, 2021). Isso posto, com o provável crescimento da demanda por produtos orgânicos, o principal desafio para as indústrias de alimentos é aumentar a oferta desses produtos, principalmente nos setores em que existem barreiras para adotar esse sistema, como o de alimentos processados.

2.1.1 Alimentos Orgânicos Processados

Nos últimos anos, a busca por alimentos saudáveis aumentou o interesse e consumo de alimentos orgânicos (DJAMAN *et al.*, 2021; DOS SANTOS *et al.*, 2019). Convergindo com isso, a demanda por produtos orgânicos processados também cresceu, abrangendo produtos de origem animal, bebidas, sobremesas e alimentos prontos para consumo (HÜPPE; ZANDER, 2021; PRADA; GARRIDO; RODRIGUES, 2017). Apesar dos alimentos orgânicos frescos serem percebidos como mais

saudáveis, Chang, Zhang e Lee (2019) constatam que quando alimentos orgânicos processados são combinados com conveniência e mensagens de marketing, com a ideia de que alimentos orgânicos são simplesmente melhores e mais saudáveis, não há diferença na autenticidade percebida ou na intenção de compra entre produtos orgânicos frescos e processados.

À vista disso, o setor de alimentos orgânicos processados tem sido visto pelas indústrias de alimentos como um segmento de mercado altamente promissor, uma vez que o rótulo “Orgânico” leva os consumidores a terem uma apreciação geral mais alta pelo produto, estando dispostos a pagar mais para adquiri-los (SCHOUTETEN; GELLYNCK; SLABBINCK, 2019). Lee *et al.* (2013), ao estudarem a percepção dos consumidores em relação a produtos rotulados como orgânicos, exibem que os participantes estavam dispostos a pagar 22,8% a mais por iogurte orgânico, 23,4% a mais por batatas fritas orgânicas e 16,1% a mais por biscoitos orgânicos.

Nesse contexto, as indústrias estão se esforçando cada vez mais para atender essa demanda mercadológica (ASCHEMANN-WITZEL; VARELA; PESCHEL, 2019), buscando inovações para aliar a praticidade dos seus produtos prontos para o consumo, já que melhoram a transportabilidade, podem ser armazenados em temperatura ambiente e são mais convenientes para o usuário, com as vantagens do sistema orgânico de produção (POST; SHANAHAN; JONSSON, 2008). No entanto, o processamento tradicional de vegetais baseia-se no uso de diferentes tipos de aditivos alimentares (estabilizantes, conservantes, antioxidantes, entre outros) para manter a qualidade do produto, principalmente naqueles suscetíveis às reações de escurecimento, tais como batata, mandioca, cenoura, grão de bico. Esse parece ser o principal fator limitante enfrentado pelas indústrias de processamento de vegetais que desejam obter a certificação orgânica para a sua linha de produtos, dado que apenas substâncias naturais são permitidas nesse tipo de alimento (BAKSIENE *et al.*, 2014; HÜPPE; ZANDER, 2021; KRETZSCHMAR; SCHMID, 2011). Além disso, em alimentos considerados naturais, os consumidores exigem a ausência de alérgenos, aditivos, ingredientes artificiais, ou ainda ingredientes desconhecidos em sua composição (ASCHEMANN-WITZEL; VARELA; PESCHEL, 2019; HÜPPE; ZANDER, 2021).

Assim, os vegetais orgânicos processados podem passar por processos físicos, químicos e biológicos, sendo embalados, armazenados e transportados, desde que as características nutricionais e sensoriais sejam preservadas, sem o uso

de aditivos proibidos por legislação (CODEX ALIMENTARIUS, 2007; KAHL *et al.*, 2014). Entre os vegetais orgânicos apreciados pelos consumidores destacam-se as batatas, consideradas mais saudáveis e saborosas do que as versões convencionais (BÁRTOVÁ *et al.*, 2013). Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2021), a quantidade de batata *in natura* e processada necessária para suplementação alimentar mundial é de aproximadamente 33 kg.per capita/ano, sendo quase 9 milhões de toneladas destinadas ao processamento em escala global em 2018.

No entanto, quando se trata de batatas prontas para o consumo, o MBS utilizado durante esse processamento para inibir as reações de escurecimento enzimático e não enzimático tem dificultado a obtenção da certificação orgânica para esse tipo produto. Isso se deve ao fato de que, ao eliminar esse aditivo do processamento, as reações de escurecimento interferem negativamente na qualidade final do produto. Por consequência, associando o grande consumo de batata com a baixa produção de batata orgânica pronta para o consumo, as indústrias perceberam que este segmento alimentício se tornou uma excelente oportunidade de negócio (ROSSI *et al.*, 2011). Portanto, o progresso na pesquisa científica pode trazer soluções para inibir e/ou controlar as mudanças prejudiciais causadas pelo processamento nos vegetais, possibilitando a disponibilidade de uma ampla gama de produtos orgânicos (ZALECKA *et al.*, 2014).

2.2 BATATA PROCESSADA INDUSTRIALMENTE

A batata, pertencente à espécie botânica *Solanum tuberosum* L., é um dos alimentos mais cultivados e consumidos no mundo (DEVAUX *et al.*, 2021; RICIPUTI *et al.*, 2018). Segundo a FAO (2021), somente no ano de 2019, foram produzidos aproximadamente 370 milhões de toneladas de batata no mundo, sendo o quinto alimento mais produzido. Essa elevada produção deve-se a grande demanda mercadológica por esse alimento, pois a batata é reconhecida como uma das mais importantes fontes alimentares, por fornecer energia proveniente dos carboidratos e proteínas, fibras, vitaminas, minerais e compostos antioxidantes, com baixo custo de

comercialização (BÁRTOVÁ *et al.*, 2013; BURGOS *et al.*, 2020; DEVAUX *et al.*, 2021; FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018).

O valor nutricional da batata, associado à crescente preocupação com a qualidade ambiental e bem-estar pessoal, tem aumentado o interesse do consumidor por batata orgânica (LOMBARDO; PANDINO; MAUROMICALE, 2017). Diversos estudos indicam que batatas oriundas de cultivo orgânico contêm menos nitratos, resíduos de pesticidas e glicoalcalóides (como a α -solanina) e maior conteúdo de matéria seca, vitamina C, amido, compostos fenólicos e aminoácidos essenciais do que batatas convencionais (BÁRTOVÁ *et al.*, 2013; BAKSIENE *et al.*, 2014; HAJŠLOVÁ *et al.*, 2005; HAMOUZ *et al.*, 2013; LOMBARDO *et al.*, 2013; LOMBARDO; PANDINO; MAUROMICALE, 2017).

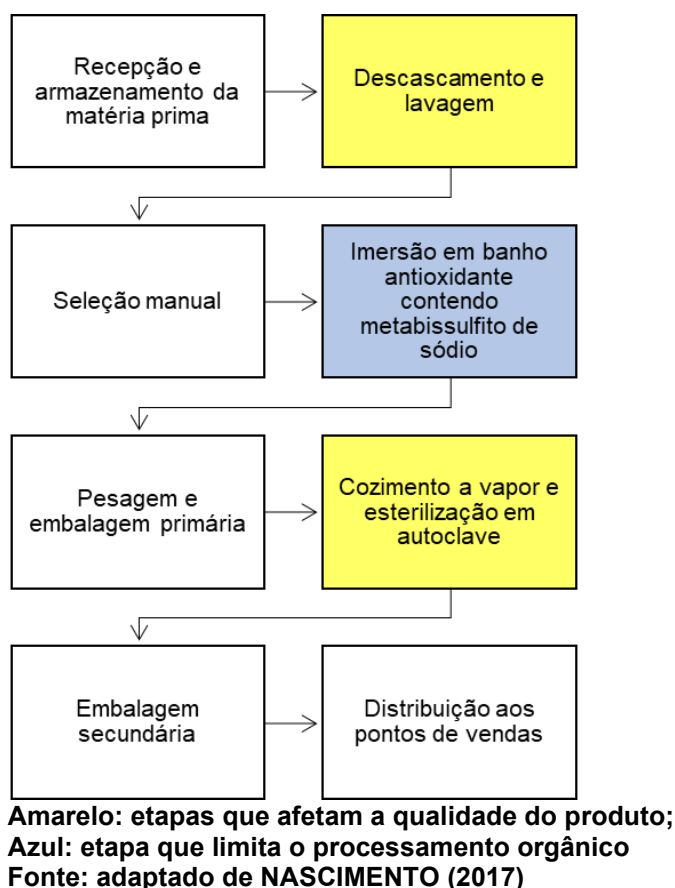
Tais benefícios associados ao cultivo orgânico, juntamente com o interesse dos consumidores por alimentos prontos de alta conveniência com menor tempo na preparação das refeições, têm levado a um rápido desenvolvimento do setor de batatas processadas orgânicas (CEROLI *et al.*, 2018). O processamento de batatas geralmente é altamente industrializado, tecnologicamente avançado e vem sendo muito impulsionado pelo mercado (DEVAUX *et al.*, 2021; KEIJBETS, 2008). Pode-se considerar que cerca de 50 a 60% das batatas frescas são processadas industrialmente para produtos com alto valor agregado (FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018). Dentre a grande multiplicidade de batatas industrializadas disponíveis no mercado podem ser citadas: em cubos, desidratadas, enlatadas, pré-fritas congeladas, assadas congeladas, cozidas (pronta para o consumo) e congeladas sob a forma de purê (FARVIN; GREJSEN; JACOBSEN, 2012; REVOREDO-GIHA, 2014; TIWARI *et al.*, 2018).

Este trabalho concentra-se no processamento e na qualidade de batata comercializada cozida, inteira e embalada a vácuo. Como se trata de um mercado emergente, as indústrias que comercializam esse produto estão buscando inovações tecnológicas para atender os consumidores de vegetais orgânicos e ampliar a vantagem competitiva neste setor. Na Figura 1, está apresentado o diagrama do sistema de produção industrial da batata processada pronta para o consumo, com destaque em amarelo para etapas que afetam a qualidade do produto, e em azul para a etapa que limita o processamento orgânico. Em geral, as etapas de processamento deste alimento pronto para o consumo iniciam-se com a recepção e armazenamento da matéria-prima, seguido do descasque a vapor em cilindro rotativo e lavagem dos

tubérculos. As batatas passam por uma etapa de seleção manual, eliminando aquelas com injúrias e deformações e assegurando a uniformidade de tamanhos, para comercialização inteira. Logo após passam pela imersão em banho antioxidante, embalagem a vácuo (primária), cozimento e esterilização em autoclave, embalagem secundária e distribuição aos pontos de vendas (NASCIMENTO, 2017).

As grandes dificuldades encontradas nesse sistema de produção para a fabricação da batata orgânica são resultantes dos processos de descasque e cozimento, bem como, do uso do MBS utilizado para manter a qualidade do produto, não permitido em alimentos orgânicos (CODEX ALIMENTARIUS, 2007).

Figura 1 - Diagrama do sistema de produção industrial da batata processada pronta para o consumo



Durante o descascamento, as batatas são expostas às reações de escurecimento enzimático, pois ocorre o extravasamento de compostos fenólicos localizados em seus vacúolos celulares, liberados como mecanismo de defesa de plantas e vegetais em resposta ao corte (GUNES; LEE, 1997; RICIPUTI *et al.*, 2018). Quando a enzima polifenoloxidase (PPO) na presença de oxigênio entra em contato

com os substratos, os compostos fenólicos, inicia-se um processo oxidativo de transformação dos orto-difenóis para o-quinonas, resultando na formação de pigmentos escuros (LIMBO; PIERGIOVANNI, 2006; IERNA; PELLEGRINO; MALVUCCIO, 2017; CEROLI *et al.*, 2018). Contudo, estudos mostraram maneiras eficazes de controlar as reações de escurecimento enzimático em batatas através do uso de métodos químicos, como uso de ácido ascórbico, ácido cítrico, L-cisteína, sulfitos, bem como de métodos físicos, como embalagem a vácuo, embalagem com atmosfera modificada, entre outros métodos (ANGÓS; VÍRSEDA; FERNÁNDEZ, 2008; GUNES; LEE, 1997; MA *et al.*, 2010; PETRI *et al.*, 2008; TEOH *et al.*, 2016; TSOUVALTZIS; BRECHT, 2017).

Portanto, considera-se que a maior dificuldade no desenvolvimento de batatas processadas orgânica se refere ao tratamento térmico empregado, pois quando os alimentos ricos em hidratos de carbono são submetidos a altas temperaturas há o desencadeamento de reações de escurecimento não enzimático (BETHKE, 2018). Em batatas, especificamente, ocorre a reação de Maillard, levando à formação de melanoidinas, compostos amarronzados que interferem na cor do produto (SERPEN; GÖKMEN, 2009). A *Food and Drug Administration* (FDA, 2016) sugere algumas práticas que podem contribuir para redução das implicações oriundas da reação de Maillard em batata processada. Dentre essas, podem ser citadas: optar por variedades com reduzido teor de açúcares redutores; otimizar a maturidade da batata no momento da colheita, controlando o tempo de plantio e o gerenciamento de insumos; não utilizar batatas com defeitos; evitar temperaturas frias durante a colheita, transporte, entrega e armazenamento e controlar o tempo e a temperatura de processamento. Contudo, as práticas relacionadas ao plantio e colheita são variáveis sobre as quais muitas vezes a indústria de processamento não tem controle. No que se refere às mudanças no tempo e temperatura de processamento, em batatas prontas para o consumo, por se tratar de um tratamento térmico que objetiva a esterilização microbiológica do alimento, são alterações consideradas difíceis de implementar sem alterar ou degradar a qualidade e vida útil do produto (BETHKE, 2018).

Essas reações de escurecimento envolvem não apenas mudanças na cor e aparência da batata processada, mas também em seu sabor, textura e valor nutricional (CEROLI *et al.*, 2018). Para evitar esses prejuízos na qualidade do produto, as indústrias de alimentos comumente utilizam o MBS para inibir as reações de

escurecimento enzimático e não enzimático em batatas, por ser um aditivo de baixo custo e extremamente eficaz (MA *et al.*, 2010). Entretanto, o MBS tem sido relacionado com alguns efeitos adversos na saúde humana, além de comprometer a segurança ambiental dos efluentes e deixar sabor residual no produto (BELTRÁN *et al.*, 2005; TSOUVALTZIS; DELTSIDIS; BRECHT, 2011). Para mais, o uso desse aditivo é o principal problema tecnológico e comercial para as indústrias que desejam produzir batatas processadas orgânicas.

Por conseguinte, as indústrias têm investido em pesquisas científicas na busca de outros compostos ou métodos que possam substituir o MBS sem prejudicar a qualidade do produto (PETRI *et al.*, 2008). Para isso, as tecnologias existentes devem ser avaliadas e aprimoradas, bem como novas tecnologias desenvolvidas para atender aos requisitos do processamento de alimentos orgânicos (ZALECKA *et al.*, 2014).

2.3 REAÇÕES DE ESCURECIMENTO

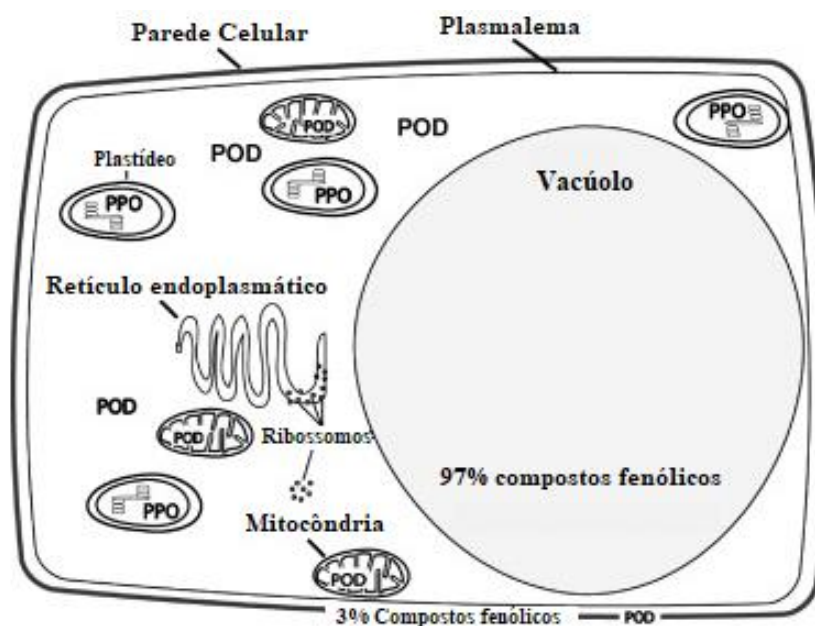
2.3.1 Escurecimento Enzimático

O processamento de batata envolve uma série de lesões teciduais devido aos processos mecânicos de descascamento e corte, induzindo diversas respostas fisiológicas relacionadas à cicatrização de feridas que desencadeiam reações secundárias, como o escurecimento enzimático (CANTOS *et al.*, 2002). Essa reação é considerada um dos principais problemas associado ao processamento da maioria das frutas e vegetais frescos, causando efeitos indesejáveis na segurança, qualidade, vida útil e valores nutricionais dos alimentos (FAIQ; THEERAKULKAIT, 2017; MOON *et al.*, 2018). Estima-se que mais de 50% das perdas em frutas e vegetais ocorrem como resultado do escurecimento enzimático (JIANG *et al.*, 2016).

A reação de escurecimento enzimático tem início quando a compartimentalização celular é danificada, dado que em uma célula inteira (Figura 1) os compostos fenólicos estão presentes nos vacúolos celulares (97%) e nos compartimentos da parede celular (3%), separados da PPO, principal enzima catalizadora desta reação (GAO *et al.*, 2018; TOIVONEN; BRUMMELL, 2008). A PPO

está localizada em organelas celulares, como cloroplastos, mitocôndrias e plastídios, podendo também ser encontrada na fração solúvel da membrana celular (BARBAGALLO; CHISARI; SPAGNA, 2009). Com o corte, rompe-se a barreira que impede a interação entre os compostos fenólicos (substratos) e PPO. Esta, na presença de oxigênio, oxida os substratos fenólicos levando a formação de o-quinonas, que subsequentemente polimerizam-se produzindo polímeros marrons insolúveis, denominados de melaninas (RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992). É importante ressaltar que a partir do momento da ruptura das paredes e membranas celulares a oxidação enzimática acontece muito rapidamente (MARTINEZ; WHITAKER, 1995), associada à elevada susceptibilidade da batata ao escurecimento enzimático (GUNES; LEE, 1997), quando a cor amarela clara desejada pelos consumidores é facilmente degradada para marrom (MOON *et al.*, 2019).

Figura 2 - Localização dos compostos fenólicos e da polifenoloxidase em uma célula vegetal



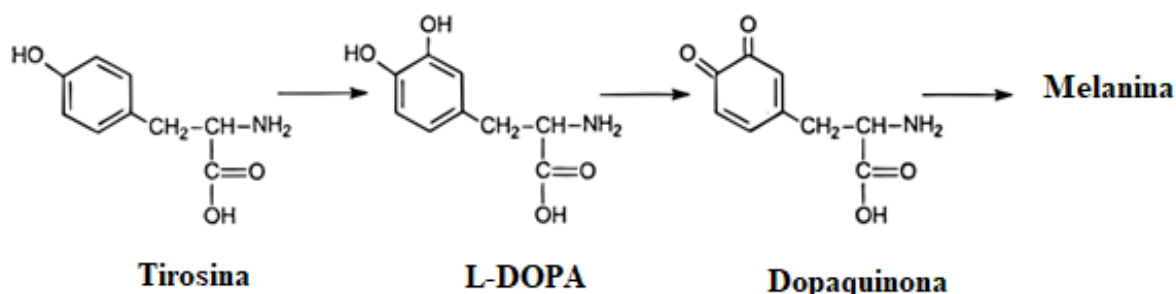
Fonte: Toivonen e Brummell (2008)

A PPO é uma enzima multifuncional contendo dois íons de cobre em seu sítio ativo, coordenados com seis histidinas, sendo encontrada em quase todas as plantas superiores, incluindo frutas e legumes, bem como em bactérias e mamíferos (JIANG *et al.*, 2016; MESQUITA; QUEIROZ, 2013; QUEIROZ *et al.*, 2008). O mecanismo de ação da PPO é fundamentado em sua capacidade de catalisar duas reações: a inserção de uma molécula de oxigênio na posição orto de um grupo hidroxila existente, ocasionando a hidroxilação de monofenóis a o-difenóis (monofenolase ou cresolase)

e a oxidação de o-difenóis a o-quinonas (difenolase ou atividade de catecolase). Após a formação das o-quinonas, compostos altamente reativos, a formação da melanina ocorre independente da presença de oxigênio e da atividade enzimática (CANTOS *et al.*, 2002; CHEN; WEI; MARSHALL, 1991; MAYER; HAREL, 1979).

A PPO também pode ser referida como tirosinase, fenolase, difenolase, monofenol oxidase, catecol oxidase e catecolase, dependendo dos substratos utilizados na reação de escurecimento dos tecidos vegetais (BARBAGALLO; CHISARI; SPAGNA, 2009; CHANG, 2009; MARTINEZ; WHITAKER, 1995). Em batatas, a L-tirosina é o substrato primário catalisado pela PPO, sendo, portanto, os pigmentos escuros considerados polímeros de melanina derivados da tirosina (MENG *et al.*, 2022; STEVENS *et al.*, 1998). Logo, a PPO da batata está envolvida na hidroxilação da tirosina a 3,4-di-hidroxi-l-fenilalanina (L-DOPA), seguida de sua oxidação à dopaquinona, que rapidamente se condensa formando a melanina (KUBO *et al.*, 2000; MOON *et al.*, 2019). A Figura 2 ilustra a reação de escurecimento enzimático em batata a partir da tirosina.

Figura 3 - Reação de escurecimento enzimático via transformação da tirosina em melanina



Fonte: Friedman (1997)

A dopaquinona formada reage covalentemente com outros compostos fenólicos, deteriorando a cor dos alimentos, com influência direta na aparência dos produtos processados, primeiro atributo percebido pelos consumidores que afeta significativamente a decisão de compra, causando assim prejuízos econômicos e ambientais (TOIVONEN; BRUMMELL, 2008; WHITAKER; LEE, 1995). Além disso, a quinona interage com grupos NH_2 de lisina, SH de cisteína, SCH_3 de metionina, compostos tiol e anéis indol do triptofano em adição nucleofílica e em reações de polimerização, diminuindo a biodisponibilidade de aminoácidos essenciais e prejudicando a digestibilidade das proteínas, podendo também resultar na formação

de glicoalcalóides, compostos tóxicos (DAO; FRIEDMAN, 1992; FRIEDMAN, 1997; KIM; YANG, 2012).

Dessa maneira, pesquisas relacionadas a compostos ou métodos que possam inibir as reações de escurecimento enzimático, principalmente advindos de fontes naturais, têm chamado a atenção das indústrias de processamento de alimentos (ABOLHASANI; BARZEGAR; SAHARI, 2018). De maneira geral, os fatores mais importantes para determinar a taxa de escurecimento enzimático de frutas e vegetais são: atividade enzimática, teor de compostos fenólicos presente, pH, temperatura e a disponibilidade de oxigênio (MARTINEZ; WHITAKER, 1995). Portanto, os métodos para evitar ou retardar as reações de escurecimento enzimático têm se concentrado na manipulação desses mecanismos.

Existem dois tipos principais de compostos inibidores do escurecimento enzimático. O primeiro refere-se àqueles que atuam diretamente na PPO, interagindo com íon cobre do sítio ativo da enzima ou formando um complexo enzima-inibidor devido à semelhança estrutural com os substratos enzimáticos. Alguns exemplos são os ácidos ascórbico, cítrico, tartárico, kójico, benzóico, cumárico, cinâmico, ferúlico, azida de sódio, cianeto de potássio, etilxantato de potássio, bem como os polifenóis, os aminoácidos e os peptídeos (ALI *et al.*, 2016; CHANG, 2009; GAO *et al.*, 2018; KIM; YANG, 2012; MAYER; HAREL, 1979; MENG *et al.*, 2022; RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992).

No segundo grupo, estão os agentes redutores, inibidores que atuam sobre os produtos gerados na reação, reduzindo o-quinonas a o-difenol ou reagindo com o-quinonas para produzir compostos incolores, tais como, o ácido ascórbico e seus derivados, cisteína e sulfitos (CHEN; WEI; MARSHALL, 1991; JIANG *et al.*, 2016; MESQUITA; QUEIROZ, 2013; QUEIROZ *et al.*, 2008; SUKHONTHARA; KAEWKA; THEERAKULKAIT, 2016). ROCCULI *et al.* (2007) mencionaram que a L-cisteína foi a substância mais eficaz para inibir o escurecimento enzimático em batatas minimamente processadas, em comparação com os ácidos ascórbico e cítrico.

Modificar o pH do meio ou a temperatura são métodos também utilizados para inativar a PPO. Em batata, o pH ótimo para atividade enzimática está entre 4,5 e 6,5 e temperatura ótima em torno de 40 °C (JIANG *et al.*, 2016; MAYER; HAREL, 1979). Desse modo, a exposição da PPO em pH abaixo de 3, por meio do uso de ácidos orgânicos ou a um tratamento térmico de 50 a 90 °C por um determinado tempo, método conhecido como branqueamento, pode destruir ou reduzir drasticamente a

atividade catalítica da enzima (MESQUITA; QUEIROZ, 2013; QUEIROZ *et al.*, 2008). Calder *et al.* (2011) mencionaram que o acidulante sulfato ácido de sódio foi eficaz para reduzir a atividade da PPO em fatias de batata frescas durante o armazenamento refrigerado (4 °C) por 28 dias, possivelmente devido à redução do pH do banho de imersão para 1,72. Por outro lado, Severini *et al.* (2003) concluíram em seu estudo que o branqueamento de fatias de batata à temperatura de ebulição por 2 min foi suficiente para inativar a PPO.

Outro método utilizado para controlar o escurecimento enzimático é limitar o acesso ao oxigênio, visto se tratar de uma reação inicialmente oxidativa (MESQUITA; QUEIROZ, 2013). Nesse sentido, várias tecnologias com o uso de atmosfera controlada ou embalagem a vácuo têm sido sugeridas (ANGÓS; VÍRSEDA; FERNÁNDEZ, 2008; GAO *et al.*, 2018; GUNES; LEE, 1997). Snoeck, Raposo e Morais (2011) destacaram que o uso de embalagem a vácuo em batatas minimamente processadas foi um método eficaz para manter os parâmetros de cor e reduzir a atividade PPO durante uma semana a 4 °C.

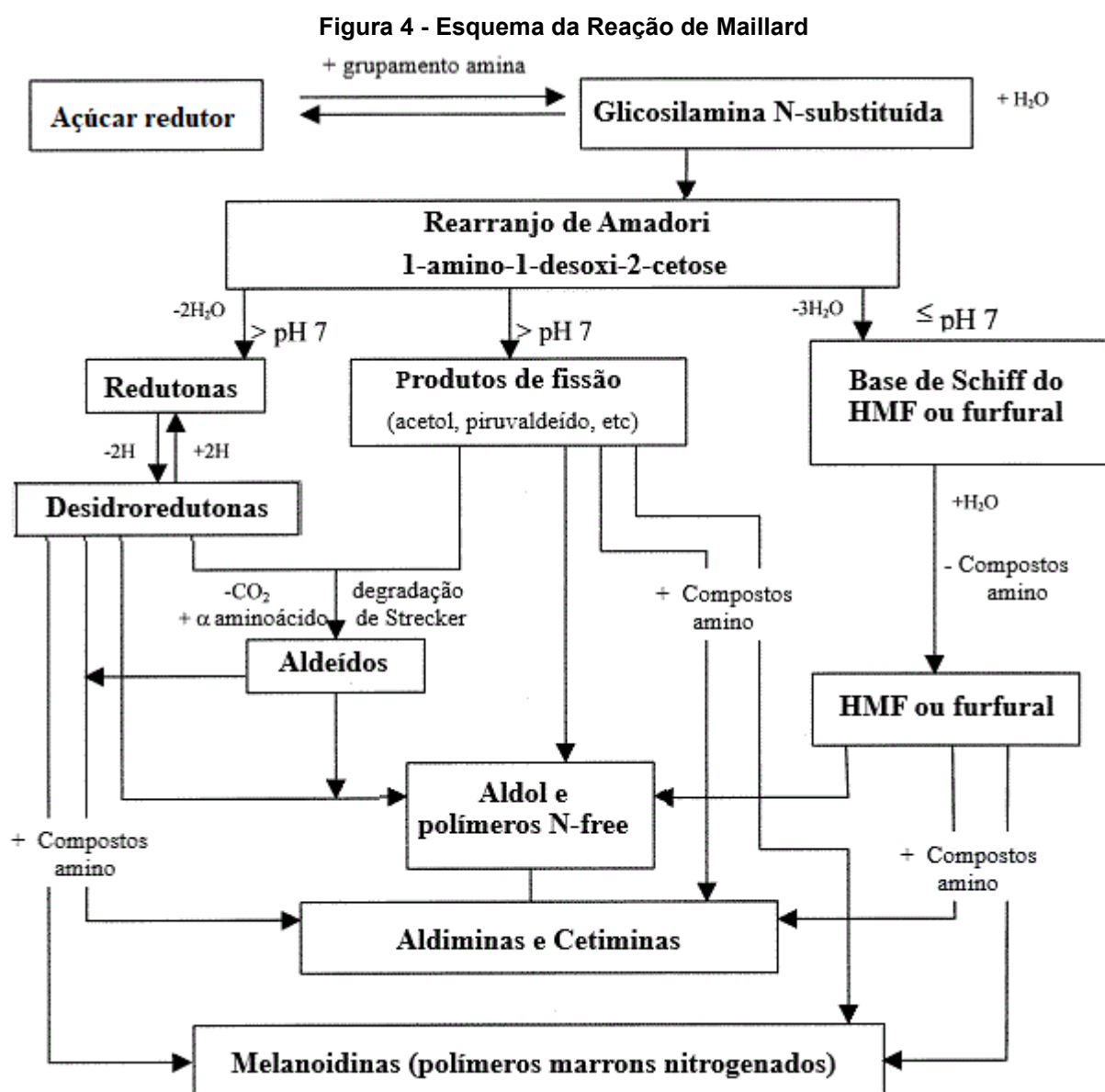
Entre as inúmeras formas disponíveis para controlar as reações de escurecimento enzimático, os agentes redutores oriundos dos sulfitos, tais como o MBS são os mais difundidos e utilizados na indústria de alimentos (MESQUITA; QUEIROZ, 2013). O MBS é o agente mais empregado no processamento de batata, sendo considerado o método mais efetivo, pois além de controlar o escurecimento enzimático causado pela PPO, também atua como inibidor do escurecimento não enzimático (JIANG *et al.*, 2016).

2.3.2 Escurecimento Não Enzimático

A batata processada pronta para o consumo, objeto de estudo desta pesquisa, passa por uma operação de cozimento e esterilização em autoclave, método frequentemente usado na fabricação de alimentos para obter produtos seguros microbiologicamente e com prazo de validade prolongado (CAPUANO; FOGLIANO, 2011). No entanto, a elevada temperatura de esterilização, associada à grande quantidade de açúcares redutores e aminoácidos presentes nesse tubérculo, resulta em uma reação de escurecimento não enzimático, denominada de reação de Maillard.

Esta interfere nos requisitos de qualidade desejados pelos consumidores para o produto, principalmente em relação a cor, textura e sabor (BETHKE, 2018).

O escurecimento não enzimático é um dos fenômenos químicos mais importantes em produtos de batata durante o processamento térmico, independente da presença de oxigênio ou atividade enzimática (ACEVEDO; SCHEBOR; BUERA, 2008). A reação de Maillard desencadeada durante o cozimento da batata refere-se a um processo complexo, envolvendo ligações covalentes entre açúcares redutores e grupamentos amina, que levam a formação de substâncias marrons de elevada massa molar (LEDL; SCHLEICHER, 1990). Na figura 3, encontra-se a esquematização da reação de Maillard.



Fonte: adaptado de Martins, Jongen e Van Boekel (2000)

A reação de Maillard pode ser dividida em três estágios: inicial, intermediário e final. A reação inicia-se com a condensação de açúcares redutores com grupamentos α ou ϵ -NH₂ de aminoácidos, peptídeos ou proteínas (FRIEDMAN, 1996). O mecanismo aceito para a condensação de açúcar-amina envolve a abertura do anel do açúcar, adição da amina ao grupo carbonila e subsequente eliminação de uma molécula de água para formar a glicosilamina N-substituída (HODGE, 1953). O produto de condensação (glicosilamina N-substituída) é então rearranjado para formar 1-amino-1-desoxi-2-cetose ou 1,2-enol, em um processo conhecido como Rearranjo de Amadori (PURLIS, 2010).

A partir desse ponto, a reação entra na sua fase intermediária, na qual ocorre a desidratação do açúcar, levando ao desenvolvimento de diferentes compostos dependendo do pH do meio. Em pH baixo-médio (4-7), a perda de três moléculas de água formará a base de Schiff, da qual a amina é subsequentemente hidrolisada, formando via 1-2-enolização o hidroximetilfurfural (HMF) quando as hexoses estão envolvidas, ou furfural, com as pentoses envolvidas (HODGE, 1953; NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019). Essa é a rota comumente associada ao desenvolvimento de escurecimento em batatas processadas, em razão da faixa de pH. Por outro lado, em pH alcalinos (> 7) formam-se as redutonas via 2-3-enolização, com estrutura similar ao furfural, porém sem o fechamento do anel de furano; formam-se também desidroredutonas e uma variedade de produtos de fissão, incluindo acetol, glicolaldeído, piruvaldeído e diacetil (HODGE, 1953; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; PEREZ-LOCAS; YAYLAYAN, 2010; ZHANG *et al.*, 2015).

Todos esses compostos são altamente reativos, podendo os grupamentos carbonila condensarem com grupos amino livres, resultando na incorporação de nitrogênio nos produtos da reação, bem como os compostos dicarbonila podem reagir com α -aminoácidos, e então passarem por um processo de descarboxilação, para produzir aldeídos, reação denominada de degradação de Strecker. Os aldeídos formados durante a degradação de Strecker são os principais responsáveis pelo aroma produzido durante o escurecimento não enzimático, entre os quais podem ser citados o 3-metilpropanal, fenilacetaldéido, L-fenilalanina, metilpropanal, L-valina, 3-metilbutanal, L-leucina e 2-metilbutanol (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; LEDL; SCHLEICHER, 1990).

No estágio final do escurecimento, os intermediários polimerizam para o desenvolvimento de compostos coloridos, insaturados e fluorescentes. As principais

reações envolvidas nessa fase incluem a condensação de aldol, polimerização de aldeído-amina, gerando compostos aldiminas e cetiminas e a formação de compostos de nitrogênio heterocíclico, tais como pirroles, imidazoles, piridinas e pirazinas, que se condensam, levando à formação de inúmeros polímeros marrons, denominados coletivamente de melanoidinas (HODGE, 1953; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; O'BRIEN; MORRISSEY; AMES, 1989; PURLIS, 2010).

Assim sendo, a ocorrência da reação de Maillard resulta na deterioração da cor de batatas processadas, prejudicando a aceitabilidade comercial do produto e conseqüentemente gerando prejuízos financeiros para a indústria (ACEVEDO; SCHEBOR; BUERA, 2008; FRIEDMAN, 1996; ZHANG *et al.*, 2015). Além disso, há perdas de vitaminas termolábeis, redução da digestibilidade de proteínas e destruição de aminoácidos essenciais (lisina, triptofano, metionina, histidina), principalmente lisina, cujo grupo ϵ -NH₂ é a principal fonte de aminas primárias em proteínas, necessária para iniciar essa reação de escurecimento não enzimático (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; PEREZ-LOCAS; YAYLAYAN, 2010; PURLIS, 2010).

Simultaneamente, substâncias com potencial toxicológico formadas durante a reação de Maillard, como a acrilamida e HMF vêm recebendo grande atenção nos últimos anos por serem considerados mutagênicas e potencialmente carcinogênicas (CAPUANO *et al.*, 2009; CAPUANO; FOGLIANO, 2011; CÓRDOVA *et al.*, 2019; DEVAUX *et al.*, 2021). A acrilamida é derivada principalmente da reação de segunda ordem entre açúcares redutores e o grupo α -amino da L-asparagina livre. Embora não seja o principal produto formado na reação de Maillard, pode se acumular a níveis detectáveis em produtos alimentícios submetidos a temperaturas superiores 120 °C (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; ZAMORA; DELGADO; HIDALGO, 2011). Assim, as batatas processadas prontas para o consumo são particularmente suscetíveis à formação de acrilamida, visto que possuem elevadas quantidades de açúcares redutores e de asparagina livre para reagir, bem como seu processo de esterilização atinge temperaturas superiores a 120 °C (BETHKE, 2018; FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018). O HMF é um aldeído cíclico derivado da desidratação de açúcares durante a reação de Maillard, comumente formado em produtos de batata que passam por tratamento térmico. Esse componente pode ser citotóxico em altas concentrações, irritante para os olhos, trato respiratório superior, pele e membranas mucosas (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; CZERWONKA; OPIŁKA; TOKARZ, 2018; MIAO *et al.*, 2014).

Por outro lado, a reação de Maillard em níveis controlados desempenha um papel importante no desenvolvimento de atributos sensoriais desejáveis, como cores, aromas e sabores em alguns alimentos, dentre os quais podem-se citar pão, biscoito, carne assada, café torrado, nozes, cerveja, chocolate ao leite, caramelos, entre outros (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; LEDL; SCHLEICHER, 1990; LEE *et al.*, 2017). Adicionalmente, os produtos formados durante o rearranjo de Amadori e as melanoidinas apresentam potencial para quelar metais e eliminar radicais de oxigênio, podendo retardar significativamente a oxidação lipídica dos alimentos (NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019; RUFÍAN-HENARES; MORALES, 2007; ZHANG *et al.*, 2015).

Assim sendo, embora a reação de Maillard gere compostos potencialmente prejudiciais à qualidade de batata processada, bem como para a saúde humana, também é responsável por atributos sensoriais de muitos alimentos. Portanto, controlar a reação de Maillard torna-se uma necessidade tecnológica com amplo espectro de pesquisa para minimizar os efeitos indesejáveis na cor de produtos processados e manter os aspectos desejáveis em produtos com características sensoriais dependentes dessa reação.

2.3.2.1 Parâmetros que afetam a reação Maillard

O desenvolvimento do escurecimento não enzimático em produtos processados é um processo dinâmico influenciado principalmente pelo tempo e temperatura, a_w e pH do sistema (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; PURLIS, 2010).

De maneira geral, a velocidade da reação de Maillard é lenta a baixas temperaturas; no entanto, vai sendo acelerada gradativamente a temperaturas acima de 55 °C, a partir da qual a cada incremento de 10 °C a taxa de reação é duplicada (LEDL; SCHLEICHER, 1990). Isso ocorre em função de que, quanto maior a temperatura e tempo empregado no processo, maior a quantidade de proteína desnaturada disponível para reação. Além disso, de acordo com a teoria de Arrhenius, um acréscimo na temperatura eleva a frequência de colisão entre as moléculas, as quais ganham mais energia cinética necessária para o desenvolvimento das reações químicas, aumentando a taxa de formação de produtos glicosados, resultando no maior

índice de escurecimento (LEE *et al.*, 2017; PURLIS, 2010). Nesse caminho, Hong e Betti (2016) mostraram que os efeitos do tempo e temperatura de secagem isoladamente foram os principais responsáveis pela variabilidade (> 80%) do índice de escurecimento não enzimático em soluções de glucosamina (5% p/v).

A velocidade da reação de Maillard também é influenciada pela a_w do alimento. Normalmente, a taxa de escurecimento cresce exponencialmente com o aumento da a_w , atingindo velocidade máxima na faixa de 0,6-0,7, pois facilita a mobilidade dos reagentes (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; O'BRIEN; MORRISSEY; AMES, 1989). Após atingir essa faixa de a_w , a velocidade da reação segue o caminho inverso, ou seja, quanto menor a a_w do alimento maior o índice de escurecimento provocado pela reação de Maillard (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008). Uma das possíveis explicações refere-se ao fato de que para a formação dos compostos intermediários é necessário um processo de desidratação, desacelerado pela alta quantidade de água (MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; PURLIS, 2010).

Além de controlar a direção da reação de Maillard, o pH do alimento também pode intervir na taxa de escurecimento da reação. Em valores de pH ácidos, o escurecimento não enzimático é baixo, aumentando progressivamente até um pH máximo de 10, a partir do qual há deficiência de íons H^+ , necessários para catalisar o rearranjo de Amadori (O'BRIEN; MORRISSEY; AMES, 1989). Segundo Hemmler *et al.* (2018), o impacto da acidez do alimento na reação de Maillard deve-se principalmente à disponibilidade de grupos amino, visto que a proporção relativa de grupos amino desprotonados, fundamentais para reações nucleofílicas na fase inicial da reação, aumenta com o acréscimo do pH.

Outros parâmetros que também influenciam a reação de Maillard são a natureza, concentração e proporção de carboidratos e compostos amino (LAROQUE *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2017). Em geral, os monossacarídeos são mais reativos do que dissacarídeos, oligossacarídeos ou polissacarídeos, assim como pentoses são mais reativas que hexoses, em função da cadeia mais curta de hidrocarboneto e aldoses são mais reativas que cetoses, devido ao menor impedimento estérico do grupo carbonila (O'BRIEN; MORRISSEY; AMES, 1989). Corroborando com a literatura, Jing e Kitts (2004) demonstraram em seu estudo que a intensidade do escurecimento provocado pela reação de Maillard é significativamente maior para os

modelos contendo ribose (aldopentose), do que para os modelos contendo glicose (aldohexose) ou frutose (ceto-hexose).

Em sistemas alimentares, a lisina é o principal aminoácido envolvido na reação de Maillard, com maior reatividade em razão da sua cadeia lateral conter um grupo ϵ -NH₂, livre para reagir com os centros eletropositivos dos açúcares redutores. Em contrapartida, a cisteína permite um escurecimento limitado (PEREZ-LOCAS; YAYLAYAN, 2010). Hemmler *et al.* (2018) ao estudarem as reações de escurecimento não-enzimáticos com diferentes sistemas de aminoácidos, mostraram que a lisina foi responsável pela maioria dos produtos de reação de Maillard gerados, seguido da cisteína, isoleucina e glicina. Da mesma forma, Kwak e Lim (2004), ao investigarem o efeito de doze aminoácidos na reação de Maillard, revelaram que a intensidade do escurecimento provocada pela lisina se tornou de duas a três vezes maior do que as dos demais aminoácidos com o decorrer do tempo de aquecimento.

Considerando os parâmetros acima mencionados, os principais meios para mitigar a reação de Maillard em batata processada incluem: seleção de variedades com reduzido teor de açúcares redutores, mudanças nas condições e/ou tecnologias do processo térmico quando possível, controle do pH por meio de acidulantes, adição de antioxidantes e uso de compostos redutores (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018). Os compostos redutores contendo grupos SH são os mais comumente empregados para evitar reações de escurecimento em vegetais (BELTRÁN *et al.*, 2005). No processamento de batata destaca-se o uso do MBS, capaz de bloquear o grupo carbonila disponível para reação de Maillard, bem como reagir com os produtos intermediários para produzir derivados de ácido sulfônico incolores (FAIQ; THEERAKULKAIT, 2017; HODGE, 1953; LEDL; SCHLEICHER, 1990; O'BRIEN; MORRISSEY; AMES, 1989).

Embora o uso do MBS de sódio seja um método prático e eficiente para controlar as reações de escurecimento em batata processada, pode causar reações alérgicas aos consumidores sensíveis, bem como seu uso representa o principal obstáculo para produção de batata processada orgânica (MA *et al.*, 2010; PETRI *et al.* 2008). Isso posto, é necessário encontrar substitutos de sulfito para serem usados no processamento de batatas; no entanto, os mecanismos utilizados para evitar as reações de escurecimento não enzimático ainda não estão tão adequadamente caracterizados quanto os utilizados para controlar as reações de escurecimento enzimático, limitando o desenvolvimento de soluções eficazes para prevenir a

formação de cor e mitigar a deterioração da qualidade durante o processamento e armazenamento de vegetais (PARAVISINI; PETERSON, 2018; DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008). Portanto, supõe-se que seja necessária uma combinação de métodos para limitar efetivamente a formação de compostos marrons oriundos da reação de Maillard em produtos alimentícios, conforme as condições de processamento de cada sistema alimentar, neste caso, o processamento de batatas pronta para o consumo.

2.4 AGENTES INIBIDORES DE ESCURECIMENTO

2.4.1 Metabissulfito de Sódio (MBS)

O MBS ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) é um aditivo alimentar indexado pelo Sistema Internacional de Numeração de Aditivos (INS) com o código 223, prontamente disponível no mercado a um baixo custo, na forma de pó branco com odor pungente e intenso (KERVINEN; AHVENAINEN, 1998). O MBS possui propriedades antioxidante, conservante, redutora, sequestrante e bactericida, sendo em razão disso amplamente utilizado na indústria de alimentos para inibir reações de escurecimento enzimático e não enzimático, além de contribuir efetivamente para redução do crescimento microbiológico (AHMADI *et al.*, 2018; CODEX ALIMENTARIUS, 1995; LAURILA; KERVINEN; AHVENAINEN, 1998).

Os principais órgãos que regulamentam o uso do MBS em alimentos são o Codex Alimentarius (Internacional), a FDA (Nacional Americano) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA – Nacional Brasileiro) (CODEX ALIMENTARIUS, 1995; FDA, 1986, BRASIL, 2013). A FDA (1986) restringiu o estado geralmente reconhecido como seguro (GRAS) do MBS para uso em alimentos fonte de vitamina B1 e em frutas ou legumes destinados a serem servidos crus ou apresentados como frescos aos consumidores. Assim sendo, o MBS permanece liberado para o uso em produtos de batata, uma vez que, para consumo esse vegetal precisa ser cozido e o dióxido de enxofre (SO_2) é perdido por evaporação durante este processo (PETRI *et al.*, 2008; MA, *et al.*, 2010). O limite máximo de SO_2 residual permitido em batata processada é de 50 ppm no produto acabado, considerando a funcionalidade de

agente antioxidante (CODEX ALIMENTARIUS, 1995; BRASIL, 2013). É importante ressaltar que de acordo com o Codex Alimentarius (1995) e FDA (1988) qualquer alimento que contenha substâncias sulfitantes, isoladas ou em combinação, deve declarar em seu rótulo quando a quantidade detectável de SO_2 residual for igual ou superior 10 ppm no produto acabado.

No processamento industrial de batatas, o MBS é dissolvido em água e incorporado ao alimento por imersão através de um banho antioxidante. Quando o MBS é dissolvido em água ocorre a formação de ácido sulfuroso (H_2SO_3), o qual ioniza-se a bissulfito (HSO_3^-) e sulfito (SO_3^{2-}) (DUANGMAL; APENTEN, 1999; KILIC-AKYILMAZ; GULSUNOGLU, 2015; MAHMOUDI *et al.*, 2017). O efluxo de prótons das paredes celulares das plantas pode levar à protonação dos íons HSO_3^- e SO_3^{2-} e à geração de SO_2 molecular, difundido livremente através das paredes e tecidos das células vegetais, acumulando-se profundamente no tecido da batata e alterando o pH do alimento (YAGANZA; TWEDDELL; ARUL, 2014).

O MBS presente no tecido celular da batata pode inativar diretamente a atividade da PPO, pela reação do sulfito com as quinonas intermediárias, resultando na formação de sulfoquinonas que inibem irreversivelmente a PPO (BRAVO; OSORIO, 2016; MISHRA; GAUTAM, 2012). Adicionalmente, o MBS pode atuar como agente redutor, convertendo novamente as o-quinonas aos o-difenóis, retardando a reação de escurecimento enzimático; ou ainda, pode combinar-se com as o-quinonas bloqueando sua participação nas reações subsequentes de oxidação, ciclização e condensação, evitando a formação da melanina (DUANGMAL; APENTEN, 1999; PETRI *et al.*, 2008; TAYLOR; HIGLEY; BUSH, 1986). A concentração de MBS necessário para retardar ou inibir completamente o escurecimento enzimático depende da natureza do substrato. Na presença de monofenóis como a tirosina, principal substrato encontrado na batata, níveis baixos de sulfito são eficazes para controlar a atividade da PPO (TAYLOR; HIGLEY; BUSH, 1986). Ni Eidhin, Degn e O'beirne (2010) evidenciaram em seu estudo que 1 mM de MBS foi suficiente para inibir completamente a atividade da PPO extraída de batata cv. Rooster.

O MBS também tem sido utilizado pelas indústrias de processamento de alimentos para controlar o escurecimento não enzimático, devido à sua capacidade de reagir com grupos carbonila de açúcares redutores, formando carbonilas sulfonadas, compostos extremamente estáveis e irreversíveis, já que parte do sulfito permanece ligado à sua estrutura (TAYLOR; HIGLEY; BUSH, 1986). O MBS reage

prontamente com compostos intermediários da reação de Maillard, tais como, furfural, HMF, redutonas, aldeídos e cetonas, impedindo o desenvolvimento do processo de escurecimento (LEDL; SCHLEICHER, 1990; O'BRIEN; MORRISSEY; AMES, 1989). Além disso, o MBS pode remover cromóforos de carbonila nas estruturas de melanoidina, resultando num efeito de branqueamento nos pigmentos marrons formados no estágio final da reação de Maillard (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008).

Adicionalmente, o SO₂ molecular presente do tecido celular da batata atua como inibidor microbiológico, uma vez que têm a capacidade de romper a membrana celular do micro-organismo, causando inativação da replicação do DNA, impedindo a biossíntese de proteína e dificultando a produção de energia (AVIS; MICHAUD; TWEDDELL, 2007; MILLS; PLATT; HURTA, 2004). O MBS atua ainda como sequestrador de oxigênio, dificultando o crescimento de microrganismos aeróbios (AHMADI *et al.*, 2019). De maneira geral, o MBS apresenta efeitos satisfatórios contra bolores, leveduras e bactérias; no entanto, as bactérias são mais sensíveis ao SO₂ do que bolores e leveduras (AHMADI *et al.*, 2018; KILIC-AKYILMAZ, GULSUNOGLU, 2015). A acidificação das paredes celulares pelo SO₂ também pode afetar a atividade de enzimas de maceração, como as pectatolases, celulasas e proteases, secretadas pelas bactérias (KOLAEI; TWEDDELL; AVIS, 2012; YAGANZA; TWEDDELL; ARUL, 2014.).

Devido à grande eficiência, baixo custo e facilidade de manuseio (AHMADI *et al.*, 2018; MA *et al.*, 2010) o MBS de sódio tornou-se o principal meio de controle de reações de escurecimento não enzimático no processamento de batatas (JIANG *et al.*, 2016), pois devido à complexidade dos mecanismos da reação há uma gama muito limitada de soluções realmente eficazes para evitar a formação de pigmentos escuros (PARAVISINI; PETERSON, 2018; DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008). Assim sendo, retirá-lo do processo produtivo de batatas prontas para o consumo tornou-se um grande desafio de interesse tecnológico, principalmente para as indústrias que almejam atender os consumidores de vegetais orgânicos e ampliar a vantagem competitiva neste setor, já que o MBS, bem como demais agentes sulfitantes não são permitidos em alimentos orgânicos processados (CODEX ALIMENTARIUS, 2007).

Além disso, há um grande interesse social associado ao uso do MBS em alimentos, visto ser correlacionado com a destruição do valor nutricional dos alimentos e com reações adversas à saúde humana, especialmente em indivíduos sensíveis e

asmáticos (FAZIO; WARNER, 1990; KILIC-AKYILMAZ; GULSUNOGLU, 2015). Adicionalmente, o MBS descartado pode interferir no tratamento de efluentes por via biológica, acarretando prejuízos ambientais (MATOS *et al.*, 2011).

À vista disso, conhecer os aspectos negativos referentes ao uso do MBS, contribui para elucidar a necessidade de estudar especificamente as condições de processamento de cada sistema alimentar, buscando um método ou combinações de métodos que possam substituir o MBS, mostrando que não se trata apenas de um problema que impossibilita o processamento orgânico de batatas, mas que também pode afetar a saúde dos consumidores e qualidade ambiental.

2.4.1.1 Problemas associados ao uso do metabissulfito de sódio (MBS)

O MBS tem a capacidade de interagir com uma grande variedade de constituintes alimentares, tais como carboidratos, proteínas, aminoácidos, vitaminas e lipídios (KOLAEI; TWEDDELL; AVIS, 2012). Embora essa característica seja a principal responsável por sua eficiência em limitar os aspectos indesejados oriundos das reações de escurecimento enzimático e não enzimático, por outro lado, interfere na qualidade nutricional dos alimentos (DUANGMAL; APENTEN, 1999; LEDL; SCHLEICHER, 1990). O MBS pode reagir com as ligações dissulfeto de peptídeos e proteínas, resultando na formação de sulfonatos, consegue oxidar a metionina em sulfóxido de metionina e destruir triptofanos. Além disso, reduz a biodisponibilidade das vitaminas A, B1, B12, C e K (TAYLOR; HIGLEY; BUSH, 1986), bem como participa da reação de peroxidação lipídica, resultando na formação de malondialdeído (ZARE *et al.*, 2019).

Outro aspecto importante a ser considerado sobre o MBS envolve reações alérgicas e intolerância causadas em indivíduos sensíveis, especialmente em asmáticos dependentes de corticosteroides, naqueles com hiper responsividade acentuada das vias aéreas e em crianças com asma crônica (ANDREOZZI *et al.*, 2019; KILIC-AKYILMAZ; GULSUNOGLU, 2015; VALLY; MISSO; MADAN, 2009). O contato com o MBS pode ocorrer através do uso de cosméticos (colorações para cabelo, hidratantes, clareadores), medicamentos (cremes antifúngicos, anestésicos locais, antibióticos) em ambientes ocupacionais (indústria de alimentos, bebidas, têxtil) e principalmente pelo consumo de alimentos e bebidas que contêm esse aditivo

(vegetais desidratados, cozidos, em conserva, cerveja, vinho) (FAZIO; WARNER, 1990; VALLY; MISSO; MADAN, 2009).

Ao ser ingerido o MBS é absorvido na região gastrointestinal, sendo levado para os demais tecidos pela circulação sanguínea; uma enzima mitocondrial chamada sulfito oxidase é responsável pela desintoxicação dos tecidos pela oxidação do SO₂ em sulfato, excretado na urina (MAHMOUDI, *et al.*, 2017; VELAYUTHAM *et al.*, 2016). No entanto, a quantidade de enzimas disponíveis para conversão de SO₂ em sulfato é muito limitada no corpo humano, sendo até mesmo inexistente em alguns indivíduos (ZARE *et al.*, 2019). Em função disso, Comitê Conjunto de especialistas em Aditivos Alimentares da *World Health Organization* (WHO) e da FAO estabeleceram que ingestão diária máxima admissível de SO₂ é de 0,7 mg/kg de massa corpórea (WHO/FAO, 2009).

Contudo, estima-se que a ingestão diária de sulfito seja superior ao recomendado, devido à grande quantidade de alimentos e bebidas que contêm este aditivo, levando à hipersensibilidade e toxicidade por sulfito (SADOWSKA *et al.*, 2021; VELAYUTHAM *et al.*, 2016; ZARE *et al.*, 2019). Entre as reações adversas frequentemente associadas ao MBS foram descritas manifestações dermatológicas, respiratórias e gastrintestinais, como dermatite de contato, urticária, broncoconstrição, renite, cólicas abdominais, náuseas, tonturas e diarreia (ANDREOZZI *et al.*, 2019; BORGES *et al.*, 2018; GARCÍA-GAVÍN; PARENTE; GOOSSENS, 2012; KILIC-AKYILMAZ; GULSUNOGLU, 2015; SADOWSKA *et al.*, 2021). Vitaliti *et al.* (2015) descreveram a situação de uma menina de 5 anos de idade, que apresentou, náuseas, erupções cutâneas, anafilaxia e insuficiência respiratória em função da hipersensibilidade a alimentos e medicamentos contendo MBS.

Além disso, Meng e Zhang (1992) mostraram que o SO₂ em concentrações a partir de 0,05 mM induz danos cromossômicos e trocas de cromátides irmãs em linfócitos sanguíneos humanos, com grau de severidade dependente da dose; possivelmente via modificação do DNA e a formação de radicais livres. Neste contexto, Chan *et al.* (2012) confirmaram que o MBS na concentração de 1% (semelhante aos níveis encontrados em alimentos) é um agente de desaminação *in vivo* muito potente que reage especificamente com citosinas no ssDNA para gerar grandes aglomerados de mutações. Adicionalmente, recentemente Yoo *et al.* (2018) demonstraram a partir de ensaios de viabilidade celular, danos na membrana e danos nos lisossomos que MBS acima de 100 µg/mL induz citotoxicidade significativa em

células epiteliais do pulmão humano. Nesse estudo evidenciou-se ainda que a exposição de células epiteliais pulmonares humanas a 50 µg/mL de MBS por sete dias resulta em 47% de redução na formação de colônias em comparação com o grupo controle, sugerindo que os efeitos crônicos da MBS são superiores do que a exposição aguda às células.

Por consequência, com a grande diversidade de sinais, sintomas e severidade das reações associados à sensibilidade aos sulfitos, por mecanismos ainda não completamente elucidados tornou-se difícil especificar uma dose de SO₂ potencialmente inofensiva para a saúde humana (VALLY; MISSO; MADAN, 2009). Portanto, se fazem necessários métodos que possibilitem reduzir ou, na melhor das hipóteses, retirar o uso de sulfitos em alimentos, sobretudo pelo fato de que o sulfito já é gerado endogenamente pelo metabolismo de aminoácidos contendo enxofre, como a metionina e a cisteína, além da exposição ao SO₂ pela poluição ambiental (VELAYUTHAM *et al.*, 2016).

Quanto à ecotoxicidade do MBS é importante considerar que prejudica o tratamento de efluentes industriais devido à atividade inibitória contra microrganismos. Ao atingir corpos d'água, lagos ou mares pode prejudicar fauna e flora locais, uma vez que os produtos de dissociação do MBS alteram as propriedades físico-químicas do meio, levando à acidificação e hipóxia (MATOS *et al.*, 2011). Portillo *et al.* (2014) demonstraram a partir de um bioensaio realizado com águas marítimas que a adição de MBS em concentrações de 50 ppm ou superior causa redução de oxigênio dissolvido (10,8%) e pH (6,6) da água levando a mortalidade dos peixes (100%) após 10 minutos de exposição ao meio, bem como é suficiente para causar uma redução significativa na vitalidade e sobrevivência das plantas após 40 minutos de exposição.

Com todos os problemas associados ao uso do MBS, a busca por substitutos tornou-se um tema de pesquisa de interesse tecnológico, industrial e ambiental, investigado nos últimos anos (ALI *et al.*, 2016; BELTRÁN *et al.*, 2005; BETHKE, 2018; CALDER *et al.*, 2011; CAPUANO *et al.*, 2009; CEROLI *et al.*, 2018; FAIQ; THEERAKULKAIT, 2017; GAO *et al.*, 2018; MA *et al.*, 2010; PETRI *et al.*, 2008; SUKHONTHARA; KAEWKA; THEERAKULKAIT, 2016). No entanto, as possíveis alternativas aos sulfitos geralmente fornecem uma gama mais limitada de benefícios, sendo menos eficazes, principalmente quando se busca o controle do escurecimento não enzimático. Assim, considera-se que cada linha de produção alimentar deve ser

explorada individualmente, na busca de uma combinação de fatores que permitam limitar o uso do MBS.

2.4.2 Cisteína

A cisteína ($\text{NH}_2\text{CH}(\text{CH}_2\text{SH})\text{COOH}$), um α -aminoácido hidrofóbico, consiste basicamente em um átomo de carbono ligado covalentemente a um átomo de hidrogênio e a três grupos ionizáveis, sendo eles, carboxílico, amino e tiol (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; DOBROWOLSKI; RODE; SADLEJ, 2007). É encontrada comumente em proteínas naturais, na maioria das vezes como isômero L (RALPH *et al.*, 1994).

Devido à alta reatividade do grupamento tiol, a cisteína tem a capacidade de criar rapidamente ligações dissulfeto com outros resíduos de cisteína, desempenhando um papel crucial no dobramento adequado de proteínas, bem como na estabilização da conformação nativa fisiologicamente ativa de proteínas. Além disso, possui propriedades antioxidantes atuando contra o estresse oxidativo na membrana celular (COLOVIC *et al.*, 2018). Adicionalmente, aminoácidos contendo enxofre, como a cisteína, exercem funções importantes na biotransformação de compostos tóxicos, devido a suas propriedades redutoras, eliminadoras de oxigênio reativo, destruidoras de hidroperóxidos de ácidos graxos e capacidade de capturar compostos eletrofílicos e intermediários (FRIEDMAN, 1994; FRIEDMAN, 1996).

Em função dessas características a cisteína tem sido estudada como moduladora do estresse oxidativo e agente inibidor das reações de escurecimento em alimentos (ALI *et al.*, 2019; AYÓN-REYNA *et al.*, 2019; CERIT *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2018b). É reconhecida como GRAS pela FDA (FDA, 1984), sendo considerada um aditivo seguro para utilização na indústria de processamento de vegetais (LI *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2018).

Os mecanismos de ação da cisteína para inibir o escurecimento enzimático, incluem a formação de compostos de adição com substratos fenólicos, tais como, 5-S-cisteinil-3,4-di-hidroxitolueno, formado a partir de 4-metilcatecol e ácido 2-S-cisteinilclorogênico a partir de ácido clorogênico (VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1995) ou a reatividade nucleofílica com os intermediários de quinona, formando compostos incolores estáveis (adutos de cisteinil), ou ainda impedindo a formação de melanina

(LI *et al.*, 2017; OJEDA; SGROPPO; ZARITZKY, 2020; ROCCULI *et al.*, 2007). Além disso, os adutos de cisteinil podem atuar como inibidores competitivos da PPO (AYÓN-REYNA *et al.*, 2019; DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992; VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1995). A cisteína também pode atuar como agente redutor, convertendo o-quinonas novamente aos seus precursores o-difenol (ALI *et al.*, 2016; ALI *et al.*, 2019; NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019; RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992). A inibição direta da PPO pela cisteína através da formação de complexos estáveis com o cobre presente no sítio ativo da enzima também foi relatada (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; NICOLAS *et al.*, 1994).

Devido à complexidade dos mecanismos de ação da cisteína, é importante ressaltar que a concentração relativa de cisteína deve ser suficiente para transformar todo o substrato em adutos incolores para evitar efetivamente o escurecimento enzimático (VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1995). Isso deve-se a que em baixas concentrações as o-quinonas formadas em excesso podem co-oxidar os compostos de adição de cisteína-quinona, levando à regeneração do fenol e ao desenvolvimento de compostos escuros (CERIT *et al.*, 2020; EISSA *et al.*, 2006; RICHARD-FORGET; GOUPY; NICOLAS, 1992).

Nesse contexto, diversos estudos relataram a L- cisteína como sendo um dos agentes anti-escurecimento mais eficazes no controle do escurecimento enzimático em diferentes frutas e hortaliças frescas, como cogumelos (OJEDA; SGROPPO; ZARITZKY, 2020), batata (CERIT *et al.*, 2020; ALI *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2017; ROCCULI *et al.*, 2007), pera (ZHOU *et al.*, 2018), abacaxi (AYÓN-REYNA *et al.*, 2019), lichia (ALI, *et al.*, 2019.) e alface (ALI *et al.*, 2015), tanto isoladamente como em combinação com diferentes métodos de conservação. Ali *et al.* (2015), destacaram ainda o potencial da cisteína como alternativa ao uso dos sulfitos, pois ambos os aditivos reduziram a formação de compostos marrons oriundos do escurecimento enzimático. A diferença é que os sulfitos apresentaram efeito imediato, enquanto, para a cisteína o efeito apareceu somente após 120 segundos.

O uso da cisteína como agente inibidor do escurecimento não enzimático também foi investigado e seu efeito tem sido avaliado em diferentes etapas da reação, estando associado à alta reatividade do grupamento tiol (BHARATE; BHARATE, 2014; HUANG *et al.*, 2011; PACHECO; CHRISTIAN; FENG, 2012; ZENG *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2018b). Sabe-se que o grupamento sulfidril livre da cisteína possui

poder redutor e reage mais rapidamente do que o grupo amino da lisina. Portanto, a cisteína pode ligar-se com açúcares redutores, impedindo a condensação entre açúcar e aminoácidos na fase inicial da reação de Maillard, retardando o início dessa transformação bioquímica (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; ZHAO *et al.*, 2015). Adicionalmente, no processo de aquecimento da L-cisteína pode ocorrer a formação de diferentes componentes, com a capacidade de inibir os radicais livres de aminoácidos, dificultando o desenvolvimento dos compostos intermediários durante o processo de escurecimento não enzimático (ZENG *et al.*, 2017). Em estágios mais avançados da reação de Maillard, o grupamento sulfidrila da cisteína pode reagir com os precursores intermediários, originando compostos relativamente estáveis (tiazolidinas, tioacetais, entre outros) e suprimindo o surgimento de cromóforos (FRIEDMAN, 1994; HEMMLER, *et al.*, 2018).

Conseqüentemente, acredita-se que a cisteína possa ser utilizada como potencial substituto do MBS no processamento de batatas prontas para o consumo, controlando a perda de qualidade decorrente das reações de escurecimento. Contudo, ainda faltam informações sobre a aplicação deste aditivo em processos industriais. Nesse sentido, estudos que investigam o uso da cisteína como inibidores alternativos aos sulfitos, bem como sua aplicação na linha de produção alimentícia apresentam grande importância social e industrial (NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019).

2.4.3 Glicina Betaína

A Glicina betaína (N, N, N- trimetilglicina) é um composto de amônio quaternário, derivado de aminoácido no qual o átomo de nitrogênio está totalmente metilado (MCNEIL; NUCCIO; HANSON, 1999; SUN *et al.*, 2020). Sua molécula assume a forma de íon dipolar, podendo interagir com macromoléculas tanto hidrofílicas quanto hidrofóbicas e não apresenta efeitos adversos, mesmo em altas concentrações (AHMAD; LIM; KWON, 2013; FEDOTOVA; KRUCHININ, 2017; SAKAMOTO; MURATA, 2002; YOU *et al.*, 2019).

Ocorre naturalmente em uma ampla variedade de plantas superiores, animais e microorganismos, chamados acumuladores naturais (FAN *et al.*, 2012; SAKAMOTO; MURATA, 2000). Nas plantas superiores a glicina betaína é sintetizada por uma reação de oxidação em duas etapas da colina via betaína aldeído (YOU *et al.*, 2019):

primeiro, a colina é oxidada a betaína aldeído pela colina monooxigenase (CMO) e depois a betaína aldeído é oxidada a glicina betaína pela betaína aldeído desidrogenase (BADH) (SHAN *et al.*, 2016). Esse processo ocorre no cloroplasto em resposta generalizada a várias condições de estresse, como seca, salinidade, resfriamento, congelamento, alta temperatura, inundação, radiação ultravioleta e metais pesados (ASHRAF; FOOLAD, 2007; CHENG *et al.*, 2013; CHEN; MURATA, 2002; SAKAMOTO; MURATA, 2002).

Nessas condições a glicina betaína desempenha diferentes papéis, incluindo contribuição para o ajuste osmótico celular, proteção da integridade da membrana, estabilização da estrutura e atividades de enzimas ou proteínas, manutenção da pressão de turgescência dentro das células e proteção das enzimas e macromoléculas da oxidação por espécies reativas de oxigênio (OSMAN, 2015; SUN *et al.*, 2020). Em razão disso, é considerada um osmoprotetor das estruturas biológicas das macromoléculas, estabilizando tanto a estrutura quaternária das proteínas quanto a estrutura altamente ordenada das membranas em condições adversas de alta salinidade e temperaturas extremas (SAKAMOTO; MURATA, 2000).

O efeito osmoprotetor da glicina betaína pode ser atribuído à hidrofobicidade dos três grupos metil e hidrofobicidade do grupo carboxila, possibilitando a formação de uma membrana protetora firme em torno das células para evitar a geração de espécies reativas de oxigênio e danos celulares (ZHANG *et al.*, 2016). Em contrapartida, a capacidade da glicina betaína em estabilizar o estado nativo das proteínas ainda não é totalmente compreendida, mas se acredita que reside na exclusão de moléculas osmoprotetoras do grupo de proteínas peptídicas após o desdobramento da proteína (FEDOTOVA; KRUCHININ, 2017; LIU; BOLEN, 1995; MCNEIL; NUCCIO; HANSON, 1999). Assim, as estruturas de proteínas nativas (dobradas) apresentam menor área de superfície possível para a água. Levando-se em conta que a maioria dos solutos interagem diretamente com a superfície das proteínas, isso evitaria a desnaturação (FELITSKY *et al.*, 2004; MCNEIL; NUCCIO; HANSON, 1999). Além disso, sob estresse de temperatura, incluindo resfriamento e superaquecimento, bem como sob estresse de salinidade, as moléculas de glicina betaína são fortemente hidratadas, revelando forte capacidade de se ligar a uma quantidade significativa de água, evitando a desidratação (FEDOTOVA; KRUCHININ, 2017).

Várias espécies taxonômicas de diversas origens, tais como trigo, beterraba, espinafre, sorgo e cevada são capazes de sintetizar glicina betaína, no entanto, outros cultivos vegetais economicamente importantes, como o arroz, a batata e o tomate não sintetizam (AHMAD; LIM; KWON, 2013; ASHRAF; FOOLAD, 2007; CHEN; MURATA, 2002). Essa deficiência levou a intensificação dos estudos em engenharia genética, para permitir que não-acumuladores ou acumuladores de baixo nível, nos quais o acúmulo natural é insuficiente para fornecer proteção adequada, sintetizassem glicina betaína (CHENG *et al.*, 2013; FAN *et al.*, 2012; PARK *et al.*, 2015; SONG *et al.*, 2020). Por exemplo, a introdução do gene *codA* de *Arthrobacter globiformis*, que codifica a colina oxidase para catalisar a conversão de colina em glicina betaína, aumentou a tolerância à seca em batatas (YOU *et al.*, 2019).

No entanto, o desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas contendo glicina betaína têm enfrentado a limitação de serem incapazes de produzir quantidades suficientes desse composto para amenizar os efeitos do estresse (ASHRAF; FOOLAD, 2007), em função da baixa disponibilidade de substrato colina, transporte reduzido de colina através do envelope do cloroplasto e ao alto custo de energia da biossíntese de glicina betaína (GUPTA; THIND; BAINS, 2014). Nesse contexto, uma abordagem alternativa mais rápida e econômica para aumentar a tolerância ao estresse da planta por meio da glicina betaína é a aplicação exógena. Portanto, cada vez mais estudos têm sido realizados na aplicação de glicina betaína exógeno para manter a qualidade dos vegetais. Estudos demonstram que tratamento com glicina betaína exógena reduz significativamente a severidade do escurecimento do pericarpo em pêras 'Nanguo' refrigeradas (SUN *et al.*, 2020; WANG, *et al.*, 2020); atenua o dano por frio em pêssegos durante o armazenamento refrigerado (SHAN *et al.*, 2016); diminui os efeitos adversos do estresse hídrico em ervilhas (OSMAN, 2015); melhorou o índice de tolerância ao estresse de genótipos de trigo sob estresse hídrico (GUPTA; THIND; BAINS, 2014); alivia fortemente o estresse de déficit hídrico via enriquecimento de açúcar para controlar o potencial osmótico celular, reter altas habilidades fotossintéticas e manter o rendimento da produção em batata doce (TISARUM *et al.*, 2020).

Entretanto, não foram encontradas informações sobre o efeito exógeno da glicina betaína na redução do escurecimento provocado pelo estresse térmico durante o processamento de batatas. Levando-se em conta suas propriedades como antioxidante, protetora da integridade da membrana e estabilizadora da estrutura das

proteínas, evitando a perda de água, acredita-se que a glicina betaína possa inibir ou retardar a reação de Maillard provocada pelo tratamento térmico no processamento de batatas pronta para o consumo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento da revisão de literatura descrita nesse trabalho utilizou-se o *Methodi Ordinatio*, metodologia proposta por Pagani, Kovaleski e Resende (2015). As etapas de pesquisa, bem como os resultados encontrados, conforme as recomendações desse método estão descritos no apêndice A.

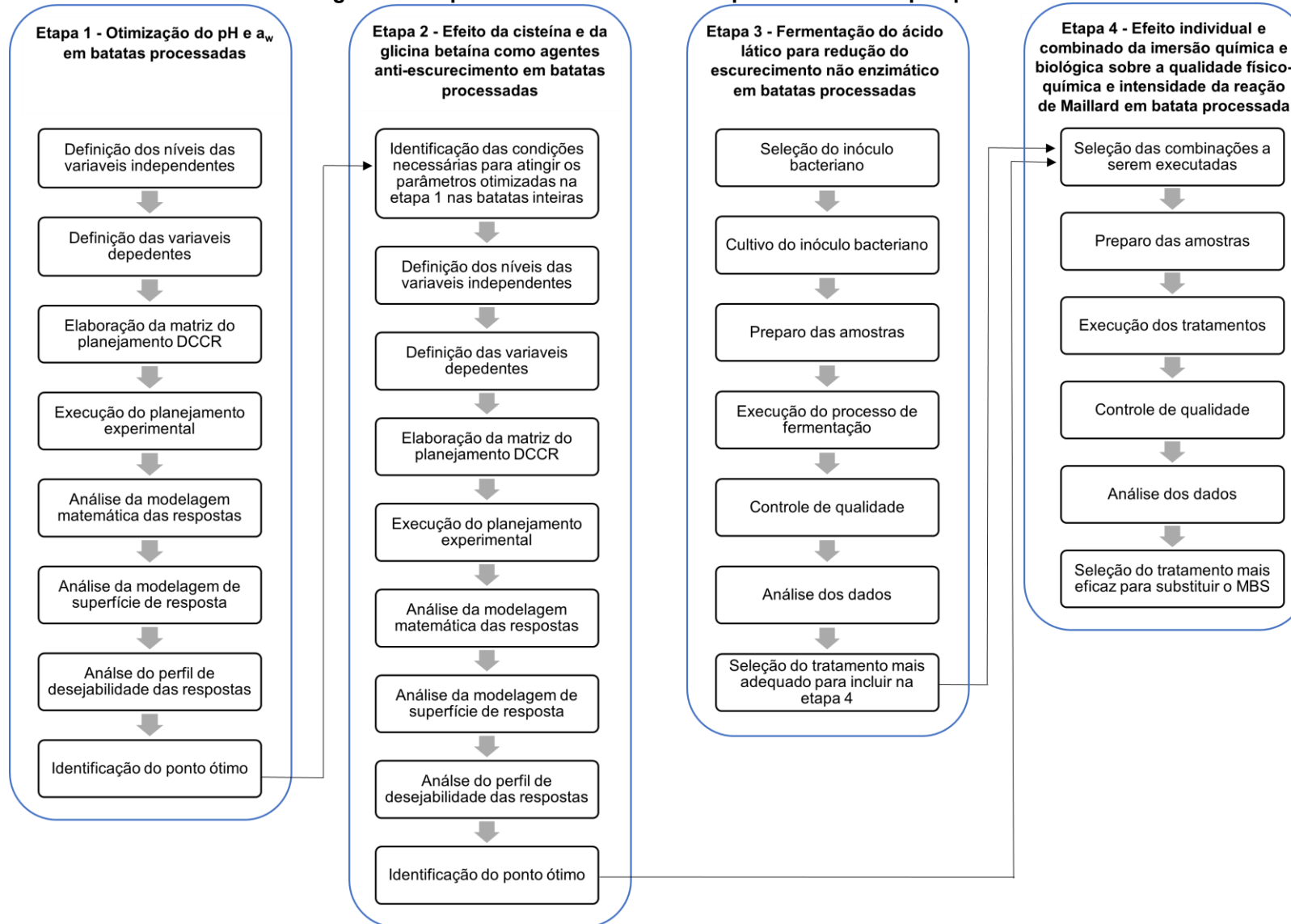
3.2 MATÉRIA-PRIMA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados aproximadamente 30 kg de batata cultivar Ágata, pertencente a safra de dezembro (plantio) a março (colheita) de 2019, cultivada por produtores da Região dos Campos Gerais do Paraná. Os tubérculos foram fornecidos por uma agroindústria de processamento de alimentos, localizada no Paraná.

3.3 ETAPAS EXPERIMENTAIS

Esta pesquisa foi estruturada em quatro etapas, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Etapas do desenvolvimento experimental desta pesquisa



Fonte: Adaptado de NUNES (2019)

A primeira etapa consistiu em um planejamento experimental em delineamento composto central rotacional (DCCR) para determinar as condições ideais de pH e a_w para o processamento de batatas prontas para o consumo. Na etapa seguinte, estudou-se o efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas, também foi aplicado um planejamento experimental em DCCR. Na terceira etapa investigou-se o processo de fermentação láctica como mecanismo para redução do escurecimento não enzimático em batatas processadas. Por fim, na última etapa, selecionaram-se os melhores tratamentos das etapas anteriores para avaliar o efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química e intensidade da reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento. A descrição metodológica de cada etapa experimental está apresentada detalhadamente nas seções seguintes.

3.3.1 Otimização Do pH E A_w em Batatas Processadas

Com o objetivo de determinar as condições ideais de pH e a_w para o processamento das batatas prontas para o consumo foi realizado um DCCR configurado com 4 pontos fatoriais, 4 axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios (Tabela 1). As variáveis independentes estudadas foram pH (2,2-7,8) e a_w (0,81-0,99), com a faixa de valores adotada para cada variável estabelecida de acordo com pré-testes na batata inteira, em função da possibilidade de implementação no processo industrial de batatas. As variáveis dependentes referiram-se as coordenadas do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$, índice de escurecimento e índice de compostos intermediários.

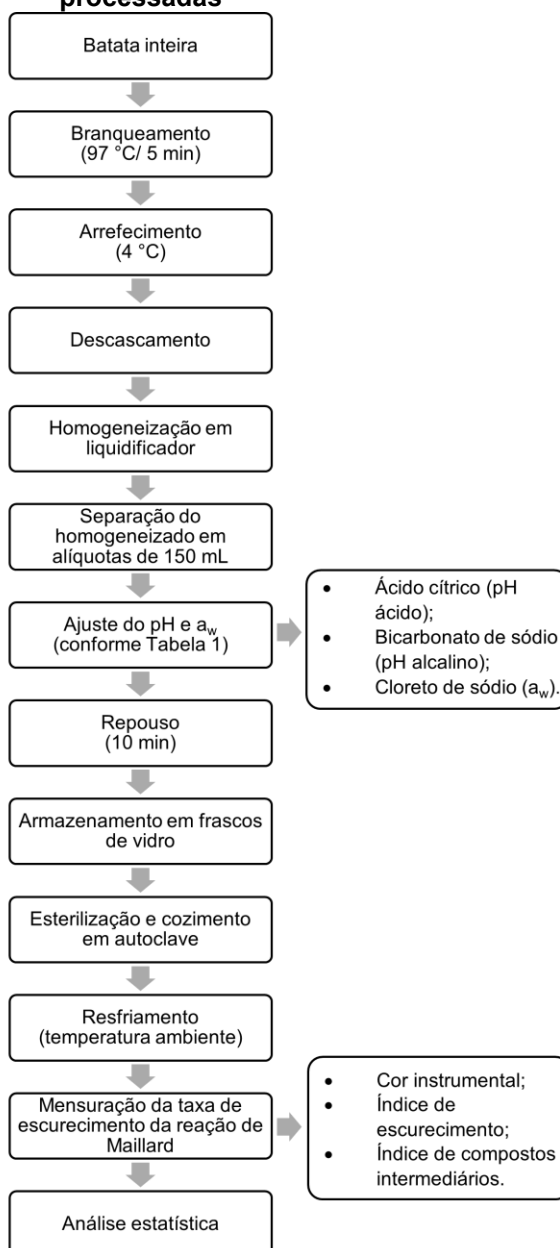
Para desenvolvimento desse experimento seguiu-se as etapas descritas na Figura 6.

Tabela 1 - Matriz do planejamento experimental com níveis codificados e reais para otimização do pH e a_w no processamento de batatas

Ensaio	Níveis codificados		Níveis reais	
	pH	a_w	pH	a_w
1	-1	-1	3,0	0,84
2	1	-1	7,0	0,84
3	-1	1	3,0	0,96
4	1	1	7,0	0,96
5	0	0	5,0	0,90
6	0	0	5,0	0,90
7	0	0	5,0	0,90
8	-1,41	0	2,2	0,90
9	1,41	0	7,8	0,90
10	0	-1,41	5,0	0,81
11	0	1,41	5,0	0,99

Fonte: autoria própria (2022)

Figura 6 - Etapas do desenvolvimento experimental para otimização do pH e a_w em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

As batatas inteiras e com casca foram submetidas ao processo de branqueamento por imersão em água 97 °C por 5 minutos, seguido do arrefecimento em banho de gelo (4 °C), a fim de inativar a atividade enzimática para verificar a influência das variáveis independentes na taxa de escurecimento provocada pela reação de Maillard durante o cozimento e esterilização em autoclave. A temperatura e o tempo do branqueamento foram estabelecidos de acordos com pré-testes, nos quais se objetivou encontrar o menor tempo que possibilitasse a inativação da PPO. Para certificar-se que tal enzima foi inativada utilizou-se o teste do guaiacol, que consistiu em cortar a batata ao meio e pingar gotas de solução de guaiacol (10%) e peróxido de hidrogênio P.A.

Após o branqueamento, as batatas foram descascadas e homogeneizadas na proporção 1:1 com água destilada em liquidificador até a completa desintegração (Britânia, Eletronic Filter PR) para facilitar o controle e variação do pH e a_w . Para executar cada ensaio (Tabela 1) alíquotas de 150 mL do homogeneizado de batata foram transferidas para béqueres, nos quais se fez o ajuste do pH e da a_w com o auxílio de ácido cítrico (pH ácido), bicarbonato de sódio (pH alcalino) e cloreto de sódio, todos no estado sólido. Após mistura manual vigorosa, cada ensaio permaneceu em repouso por cerca de 10 minutos para completa dissolução dos reagentes. O valor de pH dos tratamentos foi verificado em potenciômetro digital (Even, PHS-3E) e a a_w por leitura direta em analisador de atividade de água por ponto de orvalho com controle interno da temperatura (AquaLab 4TE).

Após o ajuste de pH e a_w cada amostra de batata foi transferida para frascos de vidro herméticos, submetidos à esterilização e cozimento em autoclave vertical, (Alpha Life Science, série ALS), de acordo com as condições aplicadas na empresa. O tempo e temperatura do processamento térmico encontram-se sob termo de confidencialidade e sigilo, portanto, não foram mencionados nesta pesquisa.

Decorrido o tempo de processamento térmico, as amostras foram retiradas da autoclave e permaneceram em temperatura ambiente até o resfriamento. Posteriormente, realizaram-se as análises referentes às variáveis de respostas.

3.3.1.1 Mensuração da taxa de escurecimento da reação de Maillard

Para avaliar o grau de escurecimento provocado pela reação de Maillard em função do valor de pH e a_w das amostras foram realizadas as análises de cor instrumental, índice de escurecimento e índice de compostos intermediários.

A análise de cor instrumental foi realizada por leitura direta em colorímetro (Hunter Lab). Avaliaram-se as coordenadas do espaço de cores do sistema CIE $L^* a^* b^*$, no qual L^* indica a luminosidade da amostra, variando de preto ($L=0$) a branco ($L=100$), a^* refere-se a coordenada cromática entre verde (-60) e vermelho (+60) e b^* caracteriza a coloração entre azul (-60) e amarelo (+60) (ZHANG *et al.*, 2015).

O índice de escurecimento foi determinado segundo metodologia descrita por Tan, Alkarkhi e Easa (2012). Cada amostra (1g) foi homogeneizada em 100 mL de água destilada. As amostras foram deixadas em repouso por 24 h em temperatura ambiente e então foram filtradas através de papel de filtro com gramatura de 80 g/m² e porosidade de 14 μ m. O filtrado foi transferido para uma célula de quartzo óptico de 10 mm e a absorvância foi determinada em um comprimento de onda de 420 nm em espectrofotômetro 800 XI (Fento). A absorvância no comprimento de onda 550 nm também foi registrada para corrigir qualquer turvação na amostra. O índice de escurecimento foi determinado com base na equação 1.

$$\text{Índice de Escurecimento} = \text{Abs420} - \text{Abs550} \quad (1)$$

Onde:

Abs420 = absorvância a 420 nm

Abs550 = absorvância a 550 nm

Para determinação do índice de composto intermediários, seguiu-se a mesma metodologia descrita para o índice de escurecimento, com a diferença de que a absorvância foi medida apenas no comprimento de onda de 294 nm (AJANDOUZ *et al.*, 2001; ZENG *et al.*, 2017).

3.3.1.2 Análise estatística

Foi realizada análise de variância (ANOVA) e regressão múltipla para identificar os termos linear, quadrático e de interação das variáveis independentes, utilizando *software* STATISTICA versão 5.0. A significância estatística dos coeficientes de regressão foi determinada usando o teste F a nível de 95% de

confiança ($p < 0,05$) e o ajuste do modelo foi verificado por meio do R^2 , do coeficiente de variação (CV) e dos gráficos dos resíduos. As condições ótimas de processamento foram obtidas por meio de análise gráfica e numérica.

Os dados foram ajustados de acordo com a seguinte função polinomial de segunda ordem:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_i X_j + \sum \beta_{ii} X_j^2 + \sum \beta_{ij} X_i \cdot X_j \quad (2)$$

Onde:

Y = variáveis dependentes

β_0 = ponto central do sistema

β_i = coeficiente linear

β_{ii} = coeficiente quadrático

X_i ou X_j = variáveis independentes

β_{ij} = coeficiente de interação

3.3.2 Efeito da Cisteína e da Glicina Betaína como Agentes Anti-Escurecimento em Batatas Processadas

Uma vez encontrado o pH e a_w ideais para o processamento de batatas realizou-se um estudo para estabelecer a concentração de ácido cítrico e tempo de imersão necessários para atingir as condições otimizadas nas batatas inteiras. A imersão em solução contendo 4% de ácido cítrico por 30 minutos foi adotada para atingir os níveis de pH e a_w desejados. Além disso, foram realizados testes para verificar se a cisteína e a glicina betaína apresentavam potencial para reduzir o escurecimento não enzimático em batatas processadas, assim como, estudar os níveis reais para executar um DCCR.

Com base nisso, foi elaborado um DCCR configurado com 4 pontos fatorais, 4 axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios (Tabela 2). As variáveis independentes estudadas foram cisteína e glicina betaína, ambas com concentrações variando entre 0,03% e 0,25%, em concentração de ácido cítrico fixa (4%) para todos os ensaios do planejamento experimental. As variáveis dependentes referiram-se as coordenadas do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$, índice de escurecimento e índice de compostos intermediários.

Tabela 2 - Matriz do planejamento experimental com níveis codificados e reais para estudar efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas

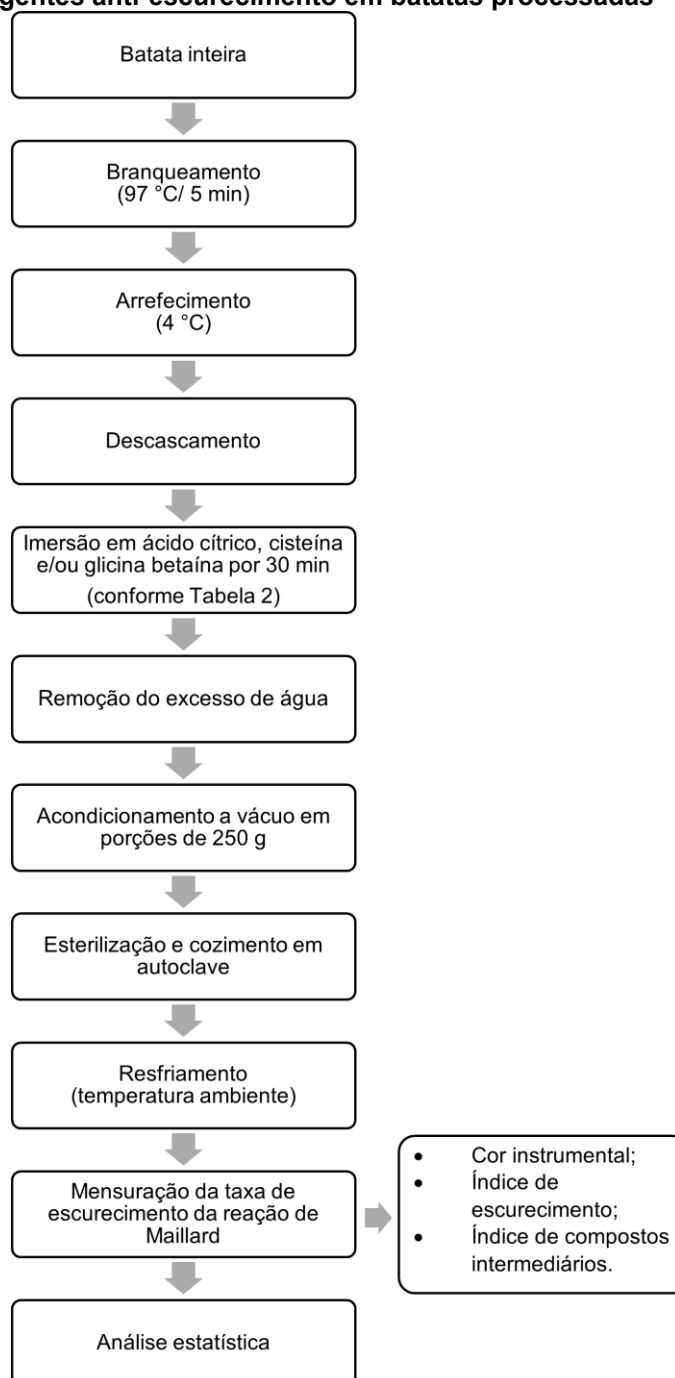
Ensaio	Níveis codificados		Níveis reais	
	Cisteína	Glicina Betaina	Cisteína (%)	Glicina Betaina (%)
1	-1	-1	0,03	0,03
2	1	-1	0,21	0,03
3	-1	1	0,03	0,21
4	1	1	0,21	0,21
5	0	0	0,12	0,12
6	0	0	0,12	0,12
7	0	0	0,12	0,12
8	0	-1,41	0,12	0,00
9	0	1,41	0,12	0,25
10	-1,41	0	0,00	0,12
11	1,41	0	0,25	0,12

Fonte: autoria própria (2022)

Para o desenvolvimento desse planejamento experimental seguiu-se as etapas descritas na Figura 7. Aproximadamente 3,5 kg de batatas inteiras e com casca foram submetidas ao processo de branqueamento por imersão, conforme descrito na seção 3.3.1. Posteriormente, as batatas foram descascadas e imersas em solução contendo ácido cítrico, cisteína e/ou glicina betaína, nas concentrações apresentadas na Tabela 2, considerando a proporção batata: líquido de 1: 2 (p/ p) durante 30 minutos. Decorrido o tempo de imersão, retiraram-se as batatas do banho e removeu-se o excesso de água. As batatas foram embaladas em porções de 250 g em seladora a vácuo (Audionvac VM 101H) e submetidas ao cozimento e esterilização em autoclave vertical, (Alpha Life Science, série ALS), de acordo com as condições aplicadas na empresa.

Em seguida, as batatas permaneceram em repouso até atingir a temperatura ambiente, até realizar as análises referentes a mensuração da taxa de escurecimento da reação de Maillard e a análise estatística, de acordo com o descrito nas seções 3.3.1.1 e 3.3.1.2, respectivamente.

Figura 7 - Etapas do desenvolvimento experimental para o estudo do efeito da cisteína e da glicina betaina como agentes anti-escurecimento em batatas processadas

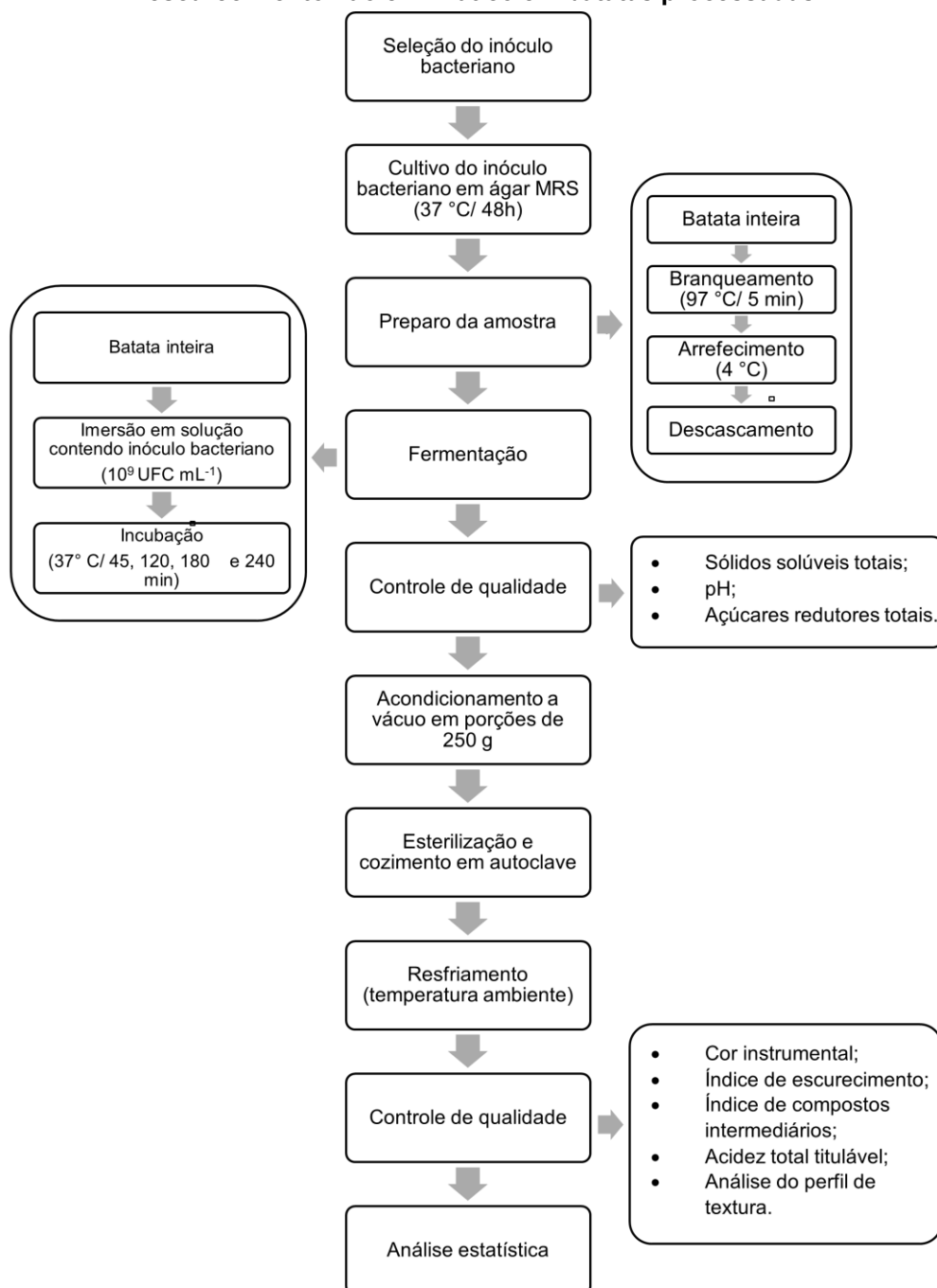


Fonte: autoria própria (2022)

3.3.3 Fermentação Lática para Redução do Escurecimento Não Enzimático em Batatas Processadas

Para Investigar a fermentação láctica como mecanismo para redução do escurecimento em batatas processadas pronta para o consumo seguiu-se as etapas descritas na Figura 8.

Figura 8 - Etapas do desenvolvimento experimental da fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

3.3.3.1 Inóculo bacteriano

Para o desenvolvimento do inóculo bacteriano foi utilizada uma cepa de *Lactobacillus acidophilus* (CMIB-085) da Coleção Microbiológica de Interesse Biotecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa (UTFPR-PG). O *Lactobacillus acidophilus* foi cultivado em placas de petri

contendo ágar Mann–Rogassa–Sharpe (MRS) por 48 horas a 37 °C. Posteriormente, a cultura de *Lactobacillus acidophilus* foi dissolvida em 100 mL de água destilada estéril a uma densidade máxima de 10^{10} UFC mL⁻¹.

3.3.3.2 Preparação da amostra e fermentação

Aproximadamente 2 kg de batatas cultivar Ágata com diâmetro entre 35-45 mm foram lavadas e branqueadas, conforme descrito no item 3.3. Em seguida, foram descascadas e submetidas a fermentação láctica.

Para o processo de fermentação seguiu-se a metodologia proposta por Baardseth *et al.* (2006). Em síntese, 1 kg de batatas branqueadas foram adicionadas em um béquer de 2 L contendo 1 L de células do inóculo a 10^9 UFC mL⁻¹. As batatas foram incubadas a 37 °C e amostras (250 g) foram retiradas após 45, 120, 180 e 240 minutos de fermentação. Após, retirou-se o excesso de água e as batatas foram embaladas em porções de 250 g em seladora a vácuo (Audionvac VM 101H). As amostras foram esterilizadas e cozidas em autoclave vertical (Alpha Life Science, série ALS), de acordo com as condições aplicadas na empresa. Em paralelo, duas amostras controle, uma com batata *in natura* e outra com batata branqueada foram cozidas e esterilizadas imediatamente após o descasque.

Assim, foram definidos os seguintes tratamentos experimentais:

- F1: Controle 1, batata *in natura*;
- F2: Controle 2, batata branqueada;
- F3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação;
- F4: Batata branqueada + 120 minutos de fermentação;
- F5: Batata branqueada + 180 minutos de fermentação;
- F6: Batata branqueada + 240 minutos de fermentação.

3.3.3.3 Controle de qualidade

Para o controle de qualidade das amostras foram avaliados o teor de sólidos solúveis totais, pH e açúcares redutores totais antes do processamento térmico, a fim de mensurar o efeito do processo fermentativo nesses parâmetros. A cor instrumental, os índices de escurecimento e de compostos intermediários, a acidez total titulável e

a análise do perfil de textura foram mensurados após o processamento térmico, para avaliar a influência do processo fermentativo no desenvolvimento da reação de Maillard, bem como nas características de textura e acidez do produto final. Todas as análises do controle de qualidade foram realizadas em triplicatas.

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por refratometria, o pH por potenciometria e a acidez total titulável por titulação, de acordo com os métodos padronizados da AOAC (2005). A cor instrumental, o índice de escurecimento e o índice de compostos intermediários foram quantificados conforme metodologia descrita na seção 3.3.1.1 do tópico material e métodos.

Para determinação dos açúcares redutores totais foi aplicado o método ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (MILLER, 1959), de acordo com o protocolo proposto por Vasconcelos, Pinto e de Aragão (2013). Aproximadamente 5 g de cada amostra de batata, previamente triturada em centrífuga de alimentos (Walita, série 6182), foi diluída em tubo Falcon de 50 mL com o auxílio de 25 mL de água destilada. A mistura foi agitada vigorosamente em vortex (Kasvi, K45-2820) durante 1 minuto e deixada em repouso por 30 minutos. A solução foi filtrada através de papel de filtro com gramatura de 80g/m² e porosidade de 14 µm, com o objetivo de reter o amido, separando-o dos demais açúcares como sacarose, frutose e glicose. Em seguida, realizou-se a hidrólise da sacarose. Para tanto, 2 mL do filtrado juntamente com 2 mL de HCL 2N foram aquecidos em banho maria (Novatecnica, NT 249) em ebulição por 10 minutos, seguido do resfriamento em banho de gelo (4 °C) e acréscimo de 2,0 mL de NaOH 2N.

Para o teste de DNS pipetou-se 1,0 mL de cada amostra hidrolisada em um tubo de ensaio e adicionou-se 1,0 mL do reagente DNS. Para o branco, substituiu-se a amostra por água destilada. A mistura foi então levada ao banho maria (Novatecnica, NT 249) a 100°C por 15 minutos, em seguida os tubos foram arrefecidos em banho de gelo (4 °C), para parar a reação. O volume de cada tubo foi completado para 11 mL com água destilada e a absorbância foi lida em espectrofotômetro (Weblabor, V-M5) em comprimento de onda de 540 nm. O conteúdo de açúcares redutores totais foi quantificado com base em uma curva de calibração padrão gerada com concentrações conhecidas de glicose de 0,1 a 1,0 g L⁻¹.

A análise do perfil de textura foi realizada em texturômetro CT3 (Brookfield) com uma sonda cilíndrica de acrílico (TA3, 25 mm de diâmetro). Para facilitar a análise, foram feitas duas seções longitudinais finas, de ponta a ponta, para que a

batata permanecesse firme na plataforma durante todo o teste, evitando movimentos excessivos, conforme indicado por Abu-Ghannam e Crowley (2006). O teste foi então executado a um nível de compressão de 20% ao longo do eixo principal da amostra a uma velocidade constante de 1 mm s^{-1} , sem período de descanso entre os ciclos. Os parâmetros texturais considerados foram: dureza 1, dureza 2, coesão, elasticidade mastigabilidade e adesividade.

3.3.3.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), seguido do teste Post Hoc de Tukey para diferenciação de grupos, quando aplicável, ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições e os resultados foram expressos como médias das triplicatas \pm desvio padrão.

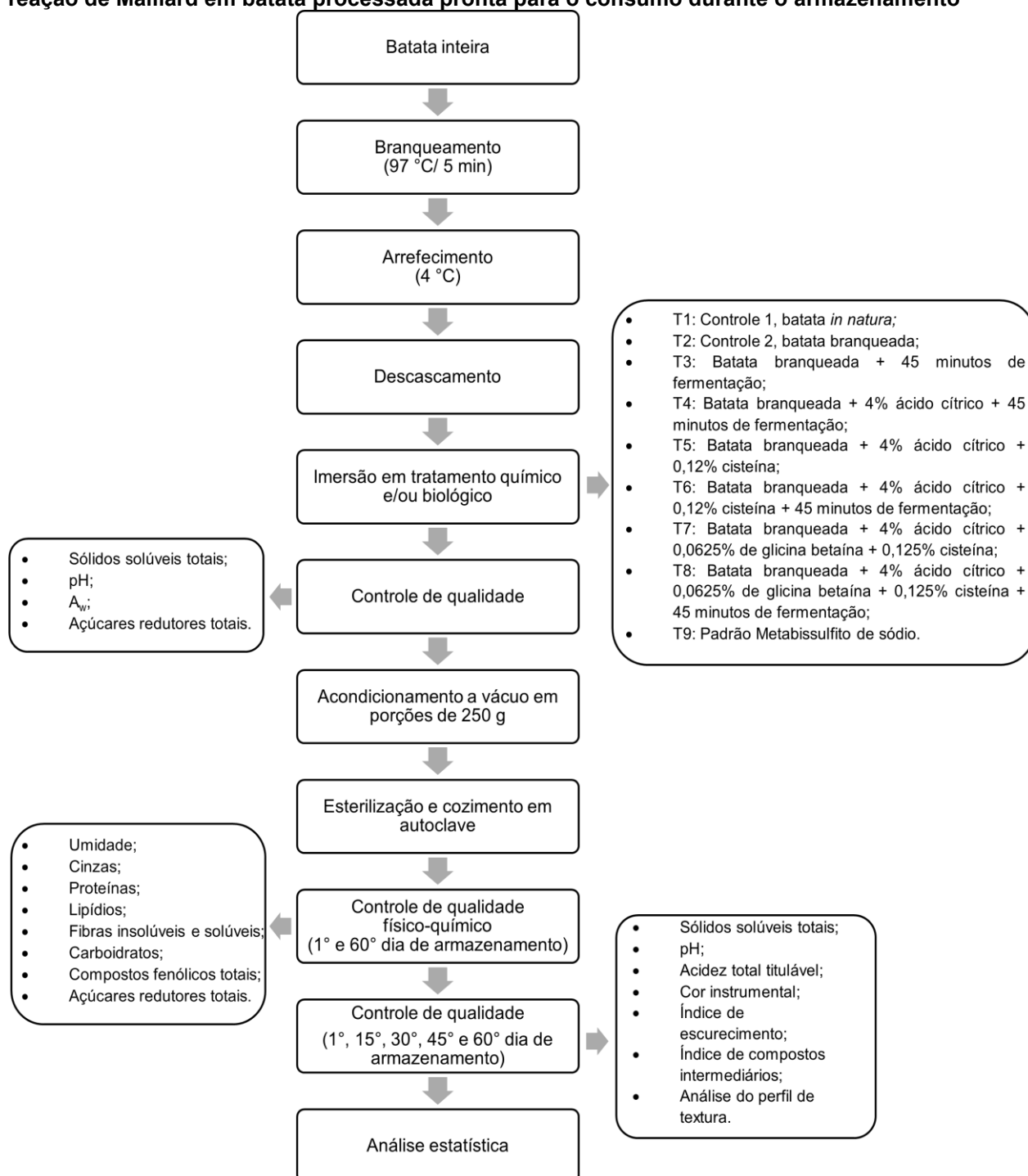
A relação entre os resultados encontrados para cor (L^* , a e b^*), índice de escurecimento, índice de compostos intermediários e a redução da concentração de açúcares redutores totais durante a fermentação foram avaliados por análise de correlação de Pearson.

Os testes estatísticos foram realizados com o uso dos *softwares* SASM-Agri (Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas) e IBM SPSS Statistics v.23 (*Software Package Used for Statistical Analysis*).

3.3.4 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica sobre a Qualidade Físico-Química e Intensidade da Reação de Maillard em Batata Processada Pronta para o Consumo Durante o Armazenamento

Para o desenvolvimento desta etapa experimental seguiu-se as etapas descritas na Figura 9.

Figura 9 - Etapas do desenvolvimento experimental para avaliar o efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química e intensidade da reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento



Fonte: autoria própria (2022)

Foram utilizados aproximadamente 15 kg de batatas, lavadas e branqueadas, conforme descrito na seção 3.3.1. Em seguida, foram descascadas e submetidas aos tratamentos por imersão química e/ou biológica, selecionados a partir dos melhores resultados obtidos nos experimentos anteriores. Para fins comparativos, dois

tratamentos controle, um com batata *in natura* e outro com batata branqueada e um tratamento padrão industrial com MBS (tratamento atualmente utilizado pela indústria) foram considerados. Assim, as batatas foram submetidas aos seguintes tratamentos experimentais:

- T1: Controle 1, batata *in natura*;
- T2: Controle 2, batata branqueada;
- T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação;
- T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação;
- T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína;
- T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação;
- T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína;
- T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação;
- T9: Padrão Metabissulfito de sódio.

Em todos os casos, a proporção batata: líquido foi de 1:2 (p/p). Os tratamentos controle (T1 e T2) e aqueles contendo apenas agentes anti-escurecimento (T5 e T7) permaneceram em imersão por 30 minutos a temperatura ambiente, enquanto, os tratamentos com fermentação (T3, T4, T6 e T8) permaneceram em imersão por 45 minutos a 37 °C. O preparo do inóculo bacteriano e da fermentação seguiram os procedimentos detalhados nos tópicos 3.5.1 e 3.5.2, respectivamente. O tratamento padrão (T9) foi realizado de acordo com o protocolo industrial, com concentração de MBS e o tempo de imersão mantidos sob termo de confidencialidade e sigilo e, portanto, não mencionados nesta pesquisa.

Após a etapa de imersão, as batatas seguiram pela linha de produção da indústria de processamento de vegetais, parceira desse estudo, sendo pesadas em porções de 250 g em balança digital, embaladas a vácuo em seladora industrial e submetidas ao cozimento e esterilização a vapor em autoclave industrial. A seguir, as batatas foram transportadas até o laboratório de bioprocessos D001 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, sendo armazenadas por 60 dias em temperatura ambiente.

3.3.4.1 Controle de qualidade

Para o controle de qualidade do processo fermentativo nas amostras de batatas foram avaliados o teor de sólidos solúveis totais, pH, a_w e açúcares redutores totais antes do processamento térmico.

Para o controle da qualidade físico-química da batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento foram mensurados: umidade, cinzas, proteínas, lipídios, fibras insolúveis e solúveis, carboidratos, compostos fenólicos totais e açúcares redutores totais, no primeiro (24 horas após o processamento) e último dia de armazenamento (60 dias de armazenamento). O teor de sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, cor instrumental, índice de escurecimento, índice de compostos intermediários e análise do perfil de textura foram determinados no primeiro dia de armazenamento e repetidas em 15, 30, 45 e 60 dias de armazenamento.

O teor de sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável foram realizados de acordo com os métodos padronizados da AOAC (2005); o teor de açúcares redutores totais pelo método DNS, descrito na seção 3.3.3.3; a a_w por leitura direta em analisador de atividade de água (AquaLab 4TE); a cor instrumental, o índice de escurecimento e o índice de compostos intermediários foram quantificados conforme metodologia descrita na seção 3.3.1.1 e análise do perfil de textura seguiu os procedimentos detalhados na seção 3.3.3.3.

Para caracterização físico-química utilizaram-se os seguintes métodos, conforme metodologia padronizada da AOAC (2005):

- Umidade: método gravimétrico, baseado na secagem em estufa 105 °C com circulação de ar por 24 horas ou até massa constante;
- Cinzas: incineração em mufla à temperatura de 500-600 °C por 4 horas;
- Proteínas: método de Kjeldahl, utilizando o fator 6,25 para a conversão da porcentagem de nitrogênio em proteínas;
- Lipídios: extração a quente, utilizando como solvente o éter etílico sob refluxo durante 5 horas;
- Fibras (solúveis e insolúveis): método enzimático gravimétrico;
- Carboidratos: por diferença $100 - (\text{cinza} + \text{lipídio} + \text{proteína} + \text{fibras})$;

- Compostos fenólicos totais: método de Folin-Ciocalteu. Para a extração dos compostos fenólicos totais 5 mg de amostra foram misturados com 10 mL etanol 80% (v/ v), permanecendo em repouso por 24 horas. Então, retirou-se 0,3 mL do sobrenadante de cada extrato obtido e adicionou-se 3,3 mL de Folin-Ciocalteu 10% (v/ v) e 2,4 mL de sódio carbonato 7,5% (m/ v). Após 30 minutos de repouso a absorvância foi medida a 760 nm usando um espectrofotômetro (Weblabor, V-M5). O teor de compostos fenólicos foi determinado com base em uma curva padrão com quantidades conhecidas de ácido gálico, sendo os resultados expressos em miligramas de ácido gálico equivalente por grama de batata (mg GAL g⁻¹).

Todas as análises foram realizadas em triplicata e para cada período avaliado utilizou-se uma amostra de 250 g do produto embalado a vácuo de cada tratamento estudado.

3.3.4.2 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), seguido do teste Post Hoc de Tukey para diferenciação de grupos, quando aplicável, ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições e os resultados foram expressos como médias das triplicatas \pm desvio padrão. Os testes estatísticos foram realizados através dos *softwares* SASM-Agri (Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 OTIMIZAÇÃO DO pH E a_w EM BATATAS PROCESSADAS

A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados para cor instrumental, índice de escurecimento e índice de compostos intermediários para cada ensaio do planejamento experimental para otimização do pH e a_w no processamento de batatas. Os resultados obtidos para as amostras de batatas em suas condições *in natura* (pH 6,5 e a_w 0,99 - experimento não incluído no planejamento experimental mostrado na Tabela 1) indicaram L^* de 36,36, a^* de -1,79, b^* de 0,19, índice de escurecimento de 0,136 e índice de compostos intermediários de 0,453.

Tabela 3 - Resultados obtidos para as variáveis dependentes do planejamento experimental para estimativa do efeito do pH e a_w escurecimento em batatas processadas

Ensaio	Níveis reais variáveis independentes		Variáveis dependentes				
	pH	a_w	L	a^*	b^*	IE	CI
1	3,0	0,84	34,48	-1,80	0,50	0,168	0,395
2	7,0	0,84	28,84	-1,20	1,93	0,220	0,307
3	3,0	0,96	37,62	-1,96	0,30	0,146	0,402
4	7,0	0,96	33,48	-1,51	0,73	0,179	0,338
5	5,0	0,90	38,95	-1,99	-0,19	0,112	0,510
6	5,0	0,90	38,98	-2,02	-0,19	0,113	0,509
7	5,0	0,90	38,95	-1,99	-0,18	0,113	0,511
8	2,2	0,90	35,71	-1,87	0,41	0,165	0,365
9	7,8	0,90	30,28	-1,04	2,51	0,251	0,316
10	5,0	0,81	36,83	-1,57	0,76	0,137	0,499
11	5,0	0,99	42,55	-2,33	-0,71	0,079	0,561

IE: índice de escurecimento; CI: índice de compostos intermediários; pontos centrais: 5, 6 e 7.

Fonte: autoria própria (2022)

A análise de cor instrumental tem sido amplamente utilizada como indicadora da extensão da reação de Maillard, uma vez que o grau de escurecimento do sistema alimentar relaciona-se diretamente com a formação de compostos castanhos de alta massa molar (ACEVEDO; SCHEBOR; BUERA, 2008; AJLOUNI; PAN, 2014). As amostras com maior escurecimento não enzimático apresentam valores reduzidos de L^* , maior tendência ao vermelho e ao amarelo (CAPUANO *et al.*, 2009; GOYENECHE *et al.*, 2014; LOVATTO *et al.*, 2012).

Nesse caso, avaliando as coordenadas do espaço de cores do sistema CIE $L^* a^* b^*$, observou-se que os ensaios 2 (pH 7 e a_w 0,84) e 9 (pH 7,8 e a_w 0,90) corresponderam aos menores valores de L^* e aos maiores de a^* e b^* , indicando que o aumento do pH e a redução da a_w em batatas processadas termicamente favoreceram o escurecimento não enzimático. Isso se justifica pelo fato de que sob condições alcalinas há maior disponibilidade de grupamento amina para reagir com açúcares redutores (HEMMLER *et al.*, 2018). Além disso, o teor de a_w apresenta grande impacto na energia de ativação necessária para iniciar a reação de Maillard, maximizando a velocidade da reação até atingir a_w próximo a 0,7, valor a partir do qual o aumento no teor de a_w reduz a concentração dos reagentes, diminuindo a velocidade da reação (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; DE OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Corroborando com o descrito, o ensaio 11 (pH 5 e a_w 0,99) apresentou os melhores resultados de cor instrumental em função da redução do pH e manutenção da elevada a_w naturalmente presente na batata. Acevedo, Schebor e Buera (2008) estudando o escurecimento não enzimático em batata desidratada, também constataram que o aumento da a_w implica em resultados mais interessantes para L^* , reduzindo a intensidade da reação de Maillard. Complementando, Mestdagh *et al.* (2008) mencionam que a redução do pH do alimento dificulta a adição nucleofílica de aminoácidos com composto carbonílicos, interferindo na formação da base de Schiff na fase intermediária da reação de Maillard.

Outro método utilizado para avaliar o progresso das reações de Maillard é o índice de escurecimento por absorvância a 420 nm, visto que as melanoidinas formadas no estágio final da reação produzem cromóforos facilmente detectados nesse comprimento de onda (LEDL; SCHLEICHER, 1990; PARAVISINI; PETERSON, 2018; ZHANG *et al.*, 2015). Os resultados encontrados para o índice de escurecimento em batatas submetidas ao processo de cozimento e esterilização em autoclave oscilaram de 0,079 a 0,251. O menor valor registrado foi para o ensaio 11 (pH 5 e a_w 0,99), enquanto o maior foi para o ensaio 9 (pH 7,8 e a_w 0,90), consistentes com os resultados de cor instrumental. Resultados semelhantes foram demonstrados por Yeo e Shibamoto (1991), ao avaliarem a influência do pH no escurecimento não enzimático de um sistema modelo L-cisteína e D-glucose submetido a irradiação em micro-ondas, quando relatam que o menor índice de escurecimento correspondeu ao pH 5.

De maneira geral, os resultados para indicadores de escurecimento da tabela 3 (cor e índice de escurecimento) mostraram ser possível minimizar a intensidade da

reação de Maillard somente reduzido o pH de 6,5 para 5, sem a necessidade de alterar a a_w das batatas, que já se encontra no teor ideal. Em termos industriais a redução do pH pode ser realizada com o ácido cítrico ou ácido ascórbico, acidulantes amplamente utilizados na indústria de alimentos, de baixo custo e sem riscos à saúde, estando os consumidores mais dispostos a aceitá-los (MA *et al.*, 2010; PETRI *et al.*, 2008; ROCCULI *et al.*, 2007). O processo para alteração do pH pode ser realizado na etapa de imersão em banho antioxidante, não sendo necessário dessa forma incluir uma nova etapa produtiva. Os custos com o ácido orgânico escolhido podem ser compensados com o maior valor agregado dos produtos com certificação orgânica (LEE *et al.*, 2013; SCHOUTETEN; GELLYNCK; SLABBINCK, 2019), ou no caso dos produtos convencionais os custos podem ser compensados pela substituição parcial ou completa do MBS.

O índice de compostos intermediários é representativo dos produtos formados na fase intermediária da reação de Maillard (furfural, redutonas, fructosazina, 3-aminopropionamida, HMF, glicolaldeído, piruvaldeído, entre outros) (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; HODGE, 1953; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; ZHANG *et al.*, 2015), com cromóforos passíveis de detecção a 294 nm (HEMMLER, *et al.* 2018; LAROQUE *et al.*, 2008). Nas amostras de batatas do presente estudo, o índice de compostos intermediários permaneceu entre 0,307 e 0,561, seguindo a ordem inversa dos resultados encontrados para cor e índice de escurecimento, pois se observou que os menores índices corresponderam aos ensaios 2 (pH 7 e a_w 0,84) e 9 (pH 7,8 e a_w 0,90), ao mesmo tempo que, o maior referiu-se ao ensaio 11 (pH 5 e a_w 0,99). Conclui-se que, ao final do processamento térmico, as batatas cozidas com menor formação de melanoidinas apresentaram a maior quantidade de produtos intermediários. Segundo Ajandouz *et al.* (2001), em condições que aumentam a velocidade da reação de Maillard, a formação de compostos intermediários atinge um valor máximo já nos primeiros estágios do período de aquecimento, a partir do qual diminuiu, possivelmente devido a transformação de alguns produtos intermediários em polímeros marrons de elevada massa molar (melanoidinas). Sugere-se que, nos ensaios 2 e 9, a alcalinidade do meio associada à redução da a_w , fatores que favorecem a reação de Maillard, levaram à formação mais acentuada de compostos intermediários, convertidos rapidamente para melanoidinas, resultando nas amostras mais escuras.

4.1.1 Modelagem de Superfície de Resposta para o Efeito do pH e a_w na Variação da Cor Instrumental em Batata Processada

A Tabela 4 apresenta os coeficientes lineares, quadráticos e de interação do efeito inicial do pH e a_w sobre as coordenadas do espaço de cores CIE L*a*b* em batatas processadas pronta para o consumo.

Tabela 4 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito do pH e a_w nas variáveis dependentes do espaço de cores CIE L*a*b* para estimativa do escurecimento em batatas processadas

Coeficientes	L*	p valor	a*	p valor	b*	p valor
Intercepto (β_0)	- 35,15	0,0021	8,86	0,0241	26,63	0,0008
Lineares						
X1 (β_1)	5,40	0,0002	-0,31	0,0366	0,02	0,0070
X2 (β_2)	108,54	0,0011	-20,03	0,0222	-54,29	0,0009
Quadráticos						
X1.X1 (β_{11})	-0,93	0,0000	0,07	0,0005	0,22	0,0000
X2.X2 (β_{22})	-51,11	0,0015	10,28	0,0255	32,06	0,0008
Interação						
X1.X2 (β_{12})	3,11	0,0006	-0,33	0,0381	-2,09	0,0003
R^2	0,91		0,96		0,95	
CV (%)	0,14		-2,11		5,12	
Fcalculado	28,99		80,51		114,45	
Ftabelado	5,05		5,05		5,05	

X1:pH; X2: a_w ; CV: coeficiente de variação

Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se que todos os coeficientes lineares, quadráticos e de interação das coordenadas do espaço de cores CIE L*a*b* foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$) ao nível de 95 % de confiança. Dessa forma, puderam ser incluídos no modelo de regressão para verificar o efeito do pH e a_w na coloração de batatas processadas pronta para o consumo.

O intercepto representa o ponto em que o plano ajustado intersecta o eixo y, quando as variáveis independentes são iguais zero (DANCEY; REIDY, 2018). No entanto, é impossível obter esse valor para pH e a_w , tornando essas constantes sem importância interpretativa.

O efeito linear do pH apontou que com o aumento de uma unidade de pH, mantendo-se constante a a_w , aumenta-se o valor de L* e b*, enquanto se diminui o valor de a* na resposta média. Contudo, o efeito quadrático significativo é indicativo de curvatura na resposta, na qual o efeito positivo denota a existência de uma região de mínimo e o efeito negativo refere-se a uma região de máximo (SCHIELZETH, 2010; LOPES, 2005). Assim, dependendo do pH inicial do sistema, seu aumento

desencadeará decréscimo no valor de L^* e acréscimo no valor de a^* e b^* , ou seja, haverá um aumento no escurecimento não enzimático da batata processada.

Por outro lado, o efeito linear da a_w revelou que ao aumentar uma unidade da a_w em pH constante do sistema alimentar, aumenta-se o valor L^* , e reduz-se o valor de a^* e b^* , ocasionando a redução de pigmentos marrons formados durante a reação de Maillard. No entanto, ao atingir determinado ponto, o efeito quadrático significativo indica que o aumento da a_w desencadeia o efeito inverso na coloração das batatas processadas. Esses resultados estão de acordo com os estudos de Acevedo, Schebor e Buera (2008), ao mencionarem que o escurecimento não enzimático em batatas desidratadas aumenta linearmente até a_w de 0,84 e, em seguida, diminui conforme se aumenta o teor de água.

Segundo Schielzeth (2010), as interações entre variáveis independentes são semelhantes com os termos quadráticos, uma vez que a interação é estimada como a inclinação do produto das duas variáveis de entrada. Nesse estudo, a interação entre pH e a_w foi significativa para todas as coordenadas do espaço de cores; assim, o efeito do pH na resposta média depende do nível de a_w e analogamente o efeito de a_w depende do nível de pH.

O R^2 refere-se à quantidade de variabilidade nos dados explicada ou considerada pelo modelo de regressão (MONTGOMERY; RUNGER, 2016). O CV demonstra (em porcentagem) a razão entre o erro padrão da estimativa e o valor médio da resposta observada, sendo que valores inferiores a 10% indicam qualidade na reprodutibilidade do modelo (AHMADI *et al.*, 2005). Para os modelos de regressão apresentados na Tabela 3, observou-se que mais de 90% da variação de cor em batatas processadas prontas para o consumo pode ser atribuída ao pH e a_w do alimento, bem como os valores de CV satisfizeram a reprodutibilidade do modelo. Os altos valores de R^2 encontrados e baixos CV, de acordo com Arachchi *et al.* (2017), indicam boa precisão e confiabilidade dos experimentos.

A ANOVA confirmou a adequação do modelo estatístico, uma vez que os valores de F calculado foram maiores que F tabelado ao nível de 95% de confiança, não havendo evidência da falta de ajuste. No entanto, de acordo com Barros Neto; Scarminio e Bruns (2011), quando a faixa de variação coberta pelos fatores estudados é pequena demais, a regressão apenas significativa pelo teste F pode não ser útil para fins preditivos. Assim, Box e Wetz (1973) consideram que o F calculado deve ser pelo menos quatro a cinco vezes maior que o F tabelado em uma regressão adequada

para realizar previsões. Nesse estudo, os valores de F calculado para L^* , a^* e b^* foram de 5,74, de 15,94 e de 22,66 vezes maior que F tabelado, respectivamente, sendo esta condição amplamente satisfeita.

Por conseguinte, os modelos propostos para representar a variação das coordenadas do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ em função do pH e a_w do sistema alimentar foi significativo e preditivo, correspondentes às seguintes funções polinomiais de segunda ordem, respectivamente:

$$Y = -35,15 + 5,40 * X1 - 0,93 * X1^2 + 108,54 * X2 - 51,11 * X2^2 + 3,11 * X1 * X2 \quad (3)$$

$$Y = 8,86 - 0,31 * X1 + 0,07 * X1^2 - 20,03 * X2 + 10,28 * X2^2 - 0,33 * X1 * X2 \quad (4)$$

$$Y = 26,63 + 0,02 * X1 + 0,22 * X1^2 - 54,29 * X2 + 32,06 * X2^2 - 2,09 * X1 * X2 \quad (5)$$

Onde:

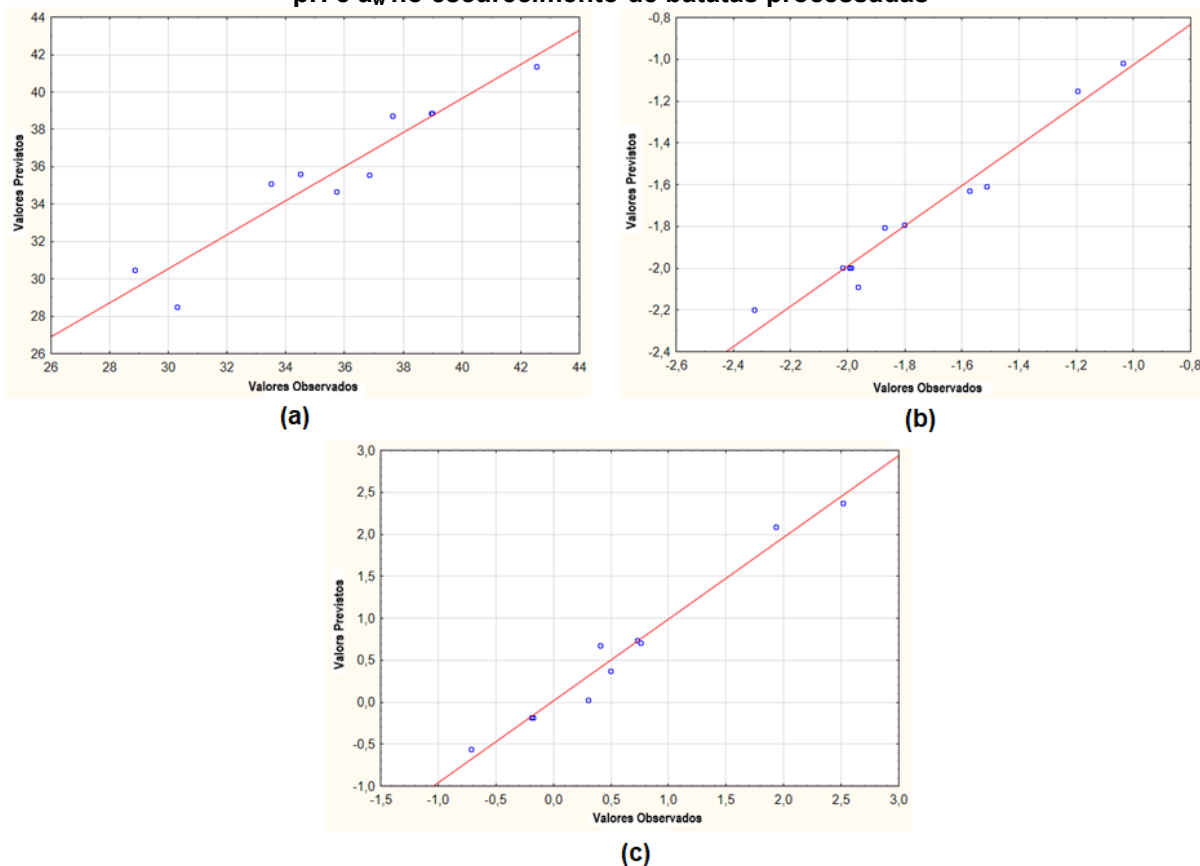
Y= variáveis dependentes (L^* , a^* e b^*)

X1 = pH

X2 = a_w

Além dos valores de F, Montgomery e Runger (2016) ressaltam que é fundamental examinar os gráficos dos resíduos para avaliar a qualidade do ajuste das funções do modelo proposto, dado que uma parte da variação total das observações em torno da média é descrita pela equação de regressão e o restante fica por conta dos resíduos (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2011). De maneira geral, os resíduos referem-se à diferença entre os valores observados e os previstos (DANCEY; REIDY, 2018). O Gráfico 1 (a, b e c) apresenta os resíduos dos modelos descritos nas equações 3,4 e 5.

Gráfico 1 - Valores observados e valores previstos para os modelos propostos para Luminosidade (a), coordenada a* (b) e coordenada b* (c) do DCCR para estimativa do efeito do pH e a_w no escurecimento de batatas processadas



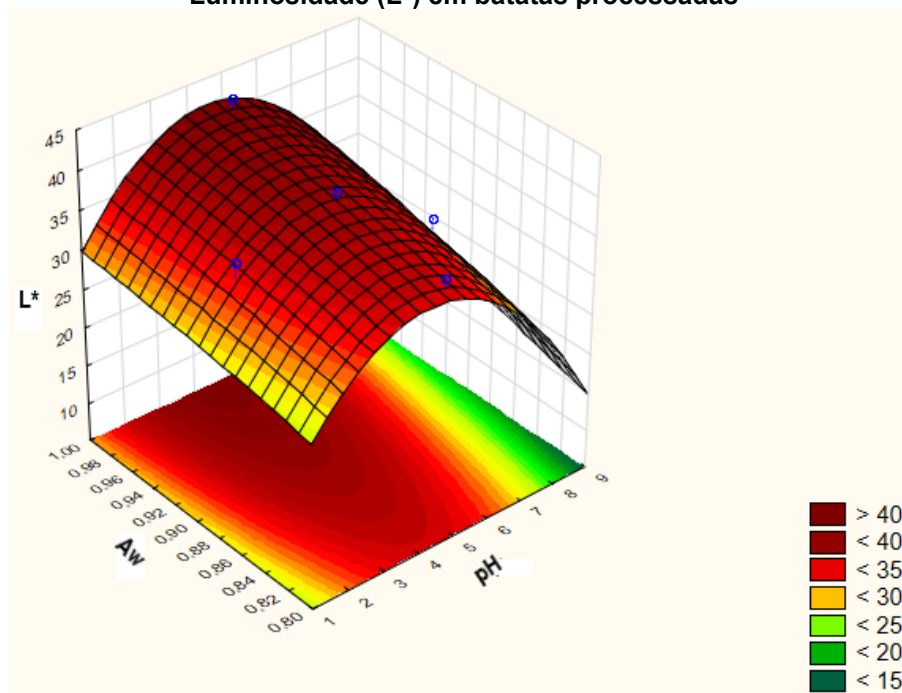
Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se que os pontos estão muito próximos à linha ajustada em todos os gráficos dos resíduos das coordenadas do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$, evidenciando que a diferença entre os valores observados e os previstos é pequena (DANCEY; REIDY, 2018). As diferenças entre os valores observados e previstos para coordenada L^* permaneceram entre -1,64 e 1,75, para a^* entre -0,13 e 0,13 e para b^* entre -0,26 e 0,27. Confirmou-se, dessa forma, o bom ajuste do modelo, o qual fornece uma aproximação adequada para o sistema de regressão dentro dos valores de pH (2,2-7,8) e a_w (0,81-0,99) estudados.

Diante disso, pode-se buscar a otimização das equações do modelo, a fim de estimar os valores de pH e a_w que fornecem o máximo de L^* e o mínimo de a^* e b^* , para encontrar as condições de processamento que reduzem impacto da reação de Maillard na coloração de batatas prontas para o consumo. Para tanto, a superfície de resposta tridimensional de cada coordenada de cor foi plotada (Gráficos 2, 3 e 4) com base nas equações (3, 4 e 5) dos modelos para investigar a região ótima de cada variável dependente. Os máximos ou mínimos das equações também foram avaliados

numericamente, método no qual suas derivadas em relação a b_0 , b_1 e b_2 devem se anular (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2011).

Gráfico 2 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação da Luminosidade (L^*) em batatas processadas



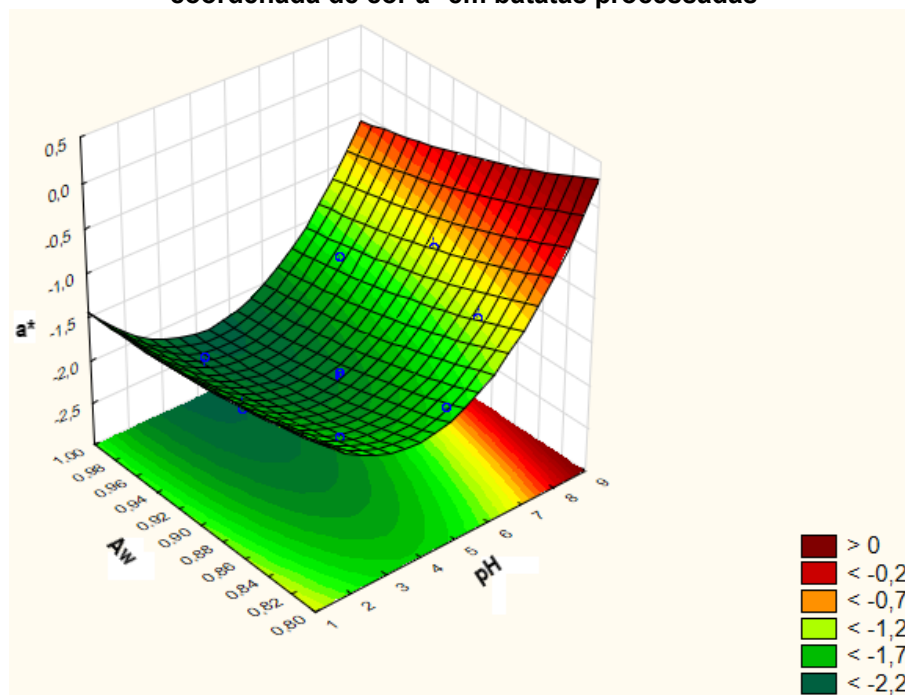
Fonte: autoria própria (2022)

A superfície de resposta para L^* , confirmou o efeito quadrático da análise de regressão, permitindo a visualização de uma região de máximo. A coordenada cromática L^* , indica o quão clara está a amostra de batata, situando-se entre preto (0) e branco (100). Desse modo, o máximo valor de L^* infere o menor impacto da reação de escurecimento no produto final (TSOUVALTZIS; BRECHT, 2017; ZHANG *et al.*, 2015). Observou-se que a região ótima, na qual foram obtidos os maiores valores de L^* para a batata processada, correspondia à faixa de pH entre 4-5 e a_w entre 0,98-1,00. Isso significa para um processo industrial de batatas apenas o pH precisaria ser modificado, uma vez que a_w naturalmente presente na batata já se encontra nessa faixa de otimização.

Numericamente encontrou-se que a região máxima pertence ao ponto equivalente a pH 4,93 e a_w 1,21, resultando em L^* de 43,92. Contudo, a a_w representa um coeficiente, definido como a razão entre a pressão parcial do vapor de água no alimento e a pressão de vapor de água pura, com máxima a_w possível igual a 1 (MATHLOUTHI, 2001). As batatas do presente estudo apresentaram naturalmente (sem nenhuma modificação) 0,99 de a_w valor considerado a máxima possível em

função do processamento. Dessa maneira, os pontos de otimização para o valor de L^* corresponderam a pH 4,93 e a_w 0,99; substituindo-os na equação 3, encontrou-se o valor de 41,41 para coordenada cromática L^* .

Gráfico 3 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação da coordenada de cor a^* em batatas processadas



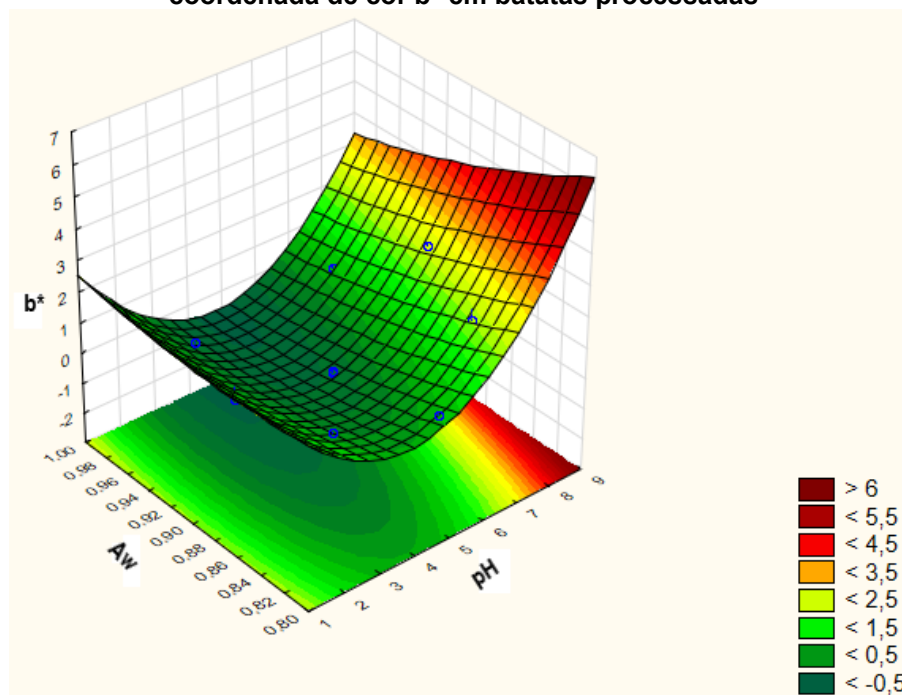
Fonte: autoria própria (2022)

A superfície de resposta da coordenada de cor a^* , corroborando com o efeito quadrático positivo do modelo de regressão indicou a presença de uma região de mínimo. A coordenada de cor a^* aponta a coloração da amostra compreendida entre verde (-60) a vermelho (+60) (CEROLI *et al.*, 2018). A coloração verde detectada em batatas é devido à presença de clorofila, enquanto, a coloração avermelhada relaciona-se com o desenvolvimento das reações de escurecimento (KJÆR *et al.*, 2017; LOVATTO *et al.*, 2012). Nesse contexto, Serpen e Gökmen (2009) mostram que batatas fritas tendem a coloração vermelha em função da reação de Maillard. Portanto, quanto mais próximo de -60 estiver o valor da coordenada a^* menor o grau de escurecimento desenvolvido na batata processada.

No Gráfico 3, a região ótima que permitiu minimizar a coordenada de cor a^* , alcançando valores menores que -2,2 correspondeu à faixa de pH entre 4-5 e a_w entre 0,98-1,00. Por meio da otimização numérica, encontrou-se que os pontos de mínimos equivaleram a pH 4,37 e a_w 1,04, resultando em a^* -2,37. Tendo em vista a a_w máxima encontrada nas batatas processadas, o ponto de minimização de a^* correspondeu a

pH 4,37 e a_w 0,99, resultando no valor de -2,34 para coordenada de cor a^* por meio da Equação 4.

Gráfico 4 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação da coordenada de cor b^* em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

A superfície de resposta quadrática para a variação da coordenada de cor b^* em batata processada expõe uma região de mínimo, estando de acordo com o modelo de regressão proposto. A coordenada b^* está associada à coloração entre azul (-60) a amarelo (+60) (CALDER *et al.*, 2011). A cor amarela da polpa de batata é decorrente da concentração de carotenoides, variando de 50 a 100 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ em variedades de polpa branca a 2000 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ em cultivares de cor amarela profunda. Por outro, a cor azul presente de forma sutil na maioria das cultivares de batata pode estar relacionada à concentração de antocianinas (BROWN, 2005). Goyeneche *et al.* (2014) destacam que variações positivas no eixo cromático b^* podem estar relacionadas às reações de escurecimento, em função do desenvolvimento de coloração marrom amarelada. Dessa maneira, entende-se que os valores mínimos em b^* são referentes as amostras de batatas processadas com menor desenvolvimento de pigmentos marrons oriundos da reação de Maillard.

A região de mínimo destacada no gráfico 4 estava próxima ao ensaio 11 do planejamento desenvolvido (pH 5 e a_w 0,99), a partir do qual o acréscimo do pH

intensificou o escurecimento não enzimático. Da mesma forma, Ajlouni e Pan (2014) mencionam que em sistema proteína-glicose ao aumentar o pH de 6 para 7 e deste para 8, há aumento significativo no valor de b^* , em consequência da maior extensão da reação de Maillard. Numericamente, os valores que minimizaram b^* pertenceram ao ponto equivalente a pH 4,80 e a_w 1,00, resultando em $b^* - 0,78$. Considerando-se a a_w máxima de 0,99 e utilizando-se da equação 5, o valor mínimo de b^* a ser alcançado em batatas processadas termicamente aproximou-se de -0,76.

4.1.2 Modelagem de Superfície de Resposta para do Efeito do pH e A_w na Variação do Índice de Escurecimento em Batata Processada

A Tabela 5 apresenta os coeficientes lineares, quadráticos e de interação do efeito inicial do pH e a_w sobre o índice de escurecimento em batatas processadas pronta para o consumo. Foi possível constatar que para todos os coeficientes o p valor foi menor que 0,05, sendo considerados estatisticamente significativos.

Tabela 5 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito do pH e a_w na variável índice de escurecimento para minimização do escurecimento em batatas processadas

Coeficientes	Índice de escurecimento	p valor
Intercepto (β_0)	0,85	0,0012
Lineares		
X1 (β_1)	-0,08	0,0002
X2 (β_2)	-0,93	0,0049
Quadráticos		
X1.X1 (β_{11})	0,01	0,0000
X2.X2 (β_{22})	0,46	0,0061
Interação		
X1.X2 (β_{12})	-0,04	0,0013
R^2	0,96	
C.V (%)	1,19	
Fcalculado	73,15	
Ftabelado	5,05	

X1:pH; X2: a_w

Fonte: autoria própria (2022)

Os efeitos linear e quadrático do pH evidenciaram que dependendo do pH inicial da amostra de batata o acréscimo em uma unidade nessa variável independente acarreta a redução ou o aumento do índice de escurecimento, respectivamente. Neste estudo, identificou-se que para batatas processadas termicamente da cultivar Ágata o aumento do pH, a partir de um pH inicial de 2,2 até pH 5, resultou no decréscimo do índice de escurecimento. Entretanto, a partir de pH

5 até pH 7,8 o aumento do pH incidiu no aumento do índice de escurecimento provocado pela reação de Maillard. Resultados semelhantes foram relatados por Jiang *et al* (2014), ao estudarem o efeito da temperatura e pH na reação de Maillard em sistema caseína bovina-galactose: a partir do pH 5 o índice de escurecimento aumenta com o acréscimo de pH, intensificando o escurecimento em condições alcalinas. Wang *et al.* (2013), da mesma forma, ao descreverem a cinética da reação de escurecimento não enzimático em diferentes pH (de pH 5 a 9) em sistema glucose- β -alanina concluem que o aumento em uma unidade de pH acentua o índice de escurecimento.

O efeito linear da a_w apontou que o aumento em uma unidade dessa variável em pH constante acarretou o decréscimo no índice de escurecimento de batatas processadas. Por outro lado, o efeito quadrático indicou que dependendo da a_w inicial do sistema alimentar o acréscimo impulsionou o escurecimento não enzimático. Esses resultados estão de acordo com Damodaran, Parkin e Fennema (2008), Morales e Van Boekel (1997), os quais enfatizam que a taxa de escurecimento máximo ocorre entre a_w de 0,60 a 0,85 dependendo do sistema alimentar, posteriormente à qual o aumento na a_w reduz a intensidade do escurecimento não enzimático. Considerando a faixa de a_w (0,81-0,99) adotada neste estudo, verificou-se que para batatas processadas quanto maior a a_w do sistema menor o escurecimento gerado pela reação de Maillard.

O efeito da interação entre o pH de a_w (-0,04) foi significativo e negativo, evidenciando que o uso combinado das variáveis independentes estudadas reduziu o índice de escurecimento em batatas processadas prontas para o consumo.

O coeficiente R^2 (0,96) indicou que o modelo de regressão apresentado pôde explicar 96% da variabilidade do índice de escurecimento em batata processada. Ao mesmo tempo, o CV denotou apenas 1,19% de variação dos valores observados em relação à média das respostas, evidenciando qualidade na precisão e reprodutibilidade dos dados experimentais.

A significância estatística da equação do modelo avaliada pelo teste F mostrou que a regressão foi estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança, bem como a proporção de 14,49 entre F calculado e F tabelado designou uma regressão adequada para realizar previsões, segundo os parâmetros definidos por Box e Wetz (1973).

Portanto, considerando que os dados da regressão foram bem ajustados, o modelo proposto para representar a variação do índice de escurecimento em batata processada submetida a cozimento e esterilização em autoclave está apresentado na Equação 6.

$$Y = 0,85 - 0,08 * X1 + 0,01 * X1^2 - 0,93 * X2 + 0,46 * X2^2 - 0,04 * X1 * X2 \quad (6)$$

Onde:

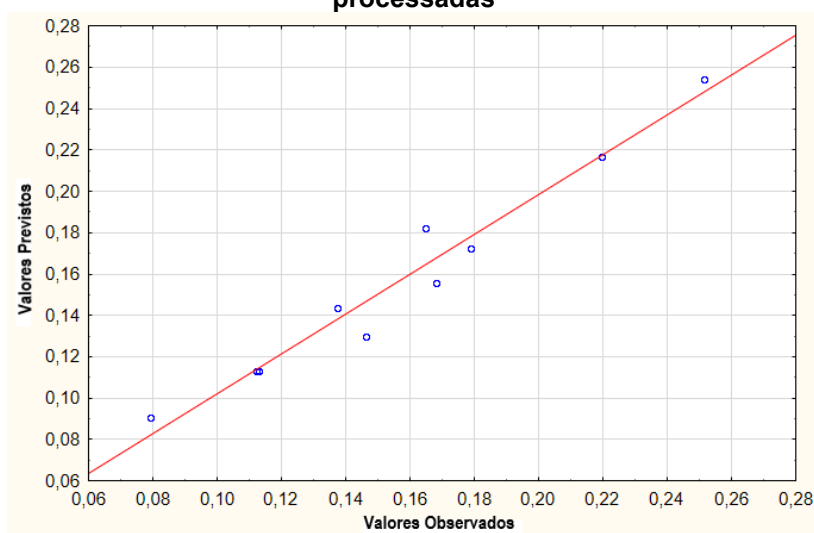
Y= variável dependente (índice de escurecimento)

X1 = pH

X2 = a_w

O gráfico dos resíduos para o índice de escurecimento (Gráfico 5) foi plotado para avaliar a diferença entre os valores observados e os previstos pela equação do modelo (equação 6). A proximidade dos valores observados e previstos, cujas diferenças foram bastante pequenas, entre -0,01 e 0,02, reforçou a predição do modelo evidenciada pelo teste F, indicando a utilidade da equação na previsão do índice de escurecimento em batata processada em diferentes combinações de pH e a_w .

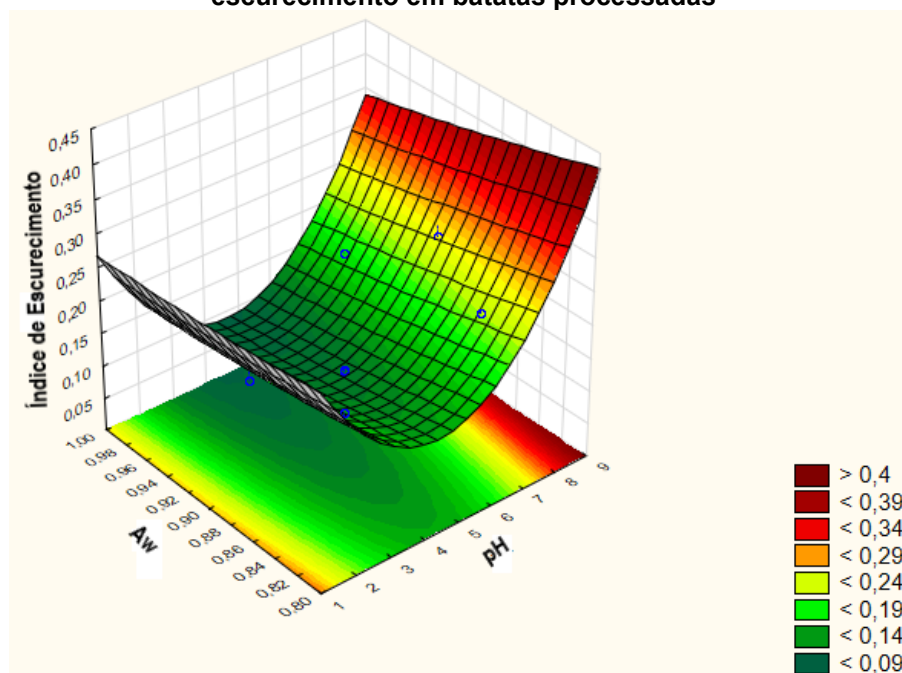
Gráfico 5 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de escurecimento do DCCR para estimativa do efeito do pH e a_w no escurecimento de batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 6 apresenta a superfície de resposta tridimensional plotada com base na equação do modelo (equação 6), a fim de determinar a região ótima de cada variável independente para obter o menor índice de escurecimento em batata processada.

Gráfico 6 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação do índice de escurecimento em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

A inclinação da superfície de resposta para a variação do índice de escurecimento em batata processada exibiu uma região de mínimo, onde é possível atingir valores inferiores a 0,09 em condições de pH entre 4-5 e a_w entre 0,96-1,00. Os parâmetros ótimos para essa variável dependente avaliados pela otimização numérica forneceram um índice de escurecimento mínimo de 0,67, possível de ser alcançado com pH de 4,97 e a_w de 1,21. Levando-se em conta a a_w máxima em batatas (0,99), o índice de escurecimento mínimo aproximado em batatas processadas correspondeu a 0,075. Esse ponto estava muito próximo ao ensaio 11 (pH 5 e a_w 0,99) do planejamento experimental desenvolvido, com 0,079 de índice de escurecimento.

De maneira geral, notou-se que para minimizar os efeitos da reação de Maillard na cor de batatas submetidas a cozimento e esterilização em autoclave, quantificado pela cor instrumental e índice de escurecimento devia-se reduzir o pH do alimento, visto que o pH inicial da batata encontra-se entre 6,0-7,0 e manter a elevada

a_w intrínseca. Além de reduzir a formação de pigmentos escuros, Ajandouz *et al.* (2001) sugerem que a redução do pH contribui para o decréscimo progressivo das taxas de perdas de aminoácidos, principalmente lisina, uma vez que a perda desse aminoácido resulta quase completamente, se não exclusivamente, da reação de Maillard.

A redução do pH da linha de produção industrial de batatas pronta para o consumo pode ser realizada facilmente com o auxílio de ácidos orgânicos. O principal impacto para a indústria é a necessidade de controlar o pH do banho antioxidante, para manter constante e garantir a uniformidade do tratamento, procedimento atualmente realizado para o MBS; no entanto, como são compostos diferentes, torna-se fundamental ajustar os parâmetros de dosagem. Estudos anteriores indicam que o uso do ácido ascórbico no processamento de batatas processadas prontas para o consumo possibilitou a redução da quantidade de MBS utilizada, sem comprometer a qualidade e estabilidade do produto, além dos ganhos sociais e ambientais (NASCIMENTO, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2020). Todavia, apenas reduzir não é suficiente para se obter a certificação orgânica, sendo necessário substituir completamente o MBS. Portanto, conhecer o comportamento de variáveis que apresentam significativa influência na formação dos compostos escuros é um excelente ponto de partida, a partir do qual se pode combinar outros métodos e agentes anti-escurecimento até atingir um resultado satisfatório tanto para o processamento industrial quanto para os consumidores. Este estudo mostrou que a redução do pH com o uso de ácido cítrico, composto acessível e de baixo custo, para batatas processadas prontas para o consumo, melhorou os parâmetros de cor em aproximadamente 20% e o índice de escurecimento em 40%, reduzindo os efeitos negativos da reação de Maillard sobre a aparência do produto.

4.1.3 Modelagem de Superfície de Resposta para o Efeito do pH e A_w na Variação do Índice de Compostos Intermediários em Batata Processada

A Tabela 6 apresenta os coeficientes lineares, quadráticos e de interação do efeito inicial do pH e a_w sobre o índice de compostos intermediários em batatas processadas pronta para o consumo. Todas as variáveis do processo, as quais incluem pH (X1), a_w (X2) e a interação entre X1 e X2 tiveram efeito significativo no índice de compostos intermediários ($p < 0,05$).

Tabela 6 - Coeficientes de regressão, valores de R² e valores de F do modelo ajustado para o efeito do pH e a_w na variável índice de compostos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas

Coeficientes	Compostos Intermediários	p valor
Intercepto (β_0)	-1,19	0,0039
Lineares		
X1 (β_1)	0,20	0,0002
X2 (β_2)	2,47	0,0042
Quadráticos		
X1.X1 (β_{11})	-0,03	0,0000
X2.X2 (β_{22})	-1,37	0,0041
Interação		
X1.X2 (β_{12})	0,05	0,0045
R ²	0,86	
C.V (%)	0,63	
Fcalculado	17,13	
Ftabelado	5,05	

X1:pH; X2: a_w

Fonte: autoria própria (2022)

Os efeitos lineares positivos do pH e a_w explicitaram que ao aumentar uma destas variáveis independentes mantendo-se constante a outra, intensificou-se a presença de compostos intermediários no produto. Em contrapartida, os efeitos quadráticos negativos evidenciaram uma região de máximo, sinalizando que o incremento ou redução do índice de compostos intermediários estava subordinado ao pH ou a_w inicial do sistema alimentar.

Neste estudo, verificou-se que para batatas processadas termicamente da cultivar Ágata o aumento do pH, a partir de um pH inicial de 2,2 até pH 5 resultou no acréscimo progressivo do índice de compostos intermediários, o qual decresceu a partir deste ponto. No entanto, para a a_w (0,81-0,99) verificou-se que quanto maior a a_w do sistema, maior o índice de compostos intermediários detectados no produto final. Tais resultados apresentaram-se inversamente proporcional à formação de cor e ao índice de escurecimento ocasionados pela reação de Maillard, pois nas mesmas condições de processamento aumentou-se o valor de L* e reduziu-se o valor de a*, b* e índice de escurecimento nas amostras de batata.

De acordo com os estudos de Ajandouz *et al.* (2001) e Arachchi *et al.* (2017), sugere-se que o pH de aproximadamente 5 e a_w de 0,99, condições que otimizam as variáveis de cor e índice de escurecimento, através da redução da velocidade da reação de Maillard retardam a formação de compostos intermediários, com formação máxima já no final do tempo de cozimento e esterilização em autoclave, sem aquecimento suficiente para concluir o estágio final da reação. Neste, os intermediários coloridos e outros precursores reativos condensam-se e polimerizam-

se para formar polímeros marrons, de alta massa molar (HODGE, 1953; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000). A partir disso, acredita-se que o pH e a_w , desfavoráveis a reação de Maillard dificultaram a formação final de melanoidinas, suscitando o acúmulo de compostos intermediários.

O coeficiente de interação significativo e positivo demonstrou que o efeito do pH em batata processada foi dependente da a_w e vice-versa, bem como, a interação entre as duas variáveis independentes resultou no aumento do índice de compostos intermediários.

Por meio da análise do R^2 foi possível inferir que o pH e a_w das batatas processadas conseguiu explicar 86% da variabilidade no índice de compostos intermediários quantificados no produto final e o CV indicou apenas 0,63% de variação dos valores observados em relação a média das respostas. Esses resultados demonstraram a consistência entre os dados e o modelo de regressão.

A significância estatística do modelo avaliada pelo teste F mostrou que a regressão foi estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança. O valor de F calculado de 17,13, aproximadamente 3,39 maior que F tabelado, não atendendo satisfatoriamente os parâmetros determinados por Box e Wetz (1973), os quais consideram uma regressão adequada para realizar previsões aquela cujo F calculado encontra-se de quatro a cinco vezes maior que o F tabelado.

A equação de regressão para o índice de compostos intermediários (Equação 7) em função das variáveis independentes estudadas e suas interações está apresentada a seguir.

$$Y = -1,19 + 0,20 * X1 - 0,03 * X1^2 + 2,47 * X2 - 1,37 * X2^2 + 0,05 * X1 * X2 \quad (7)$$

Onde:

Y= variável dependente (índice de compostos intermediários)

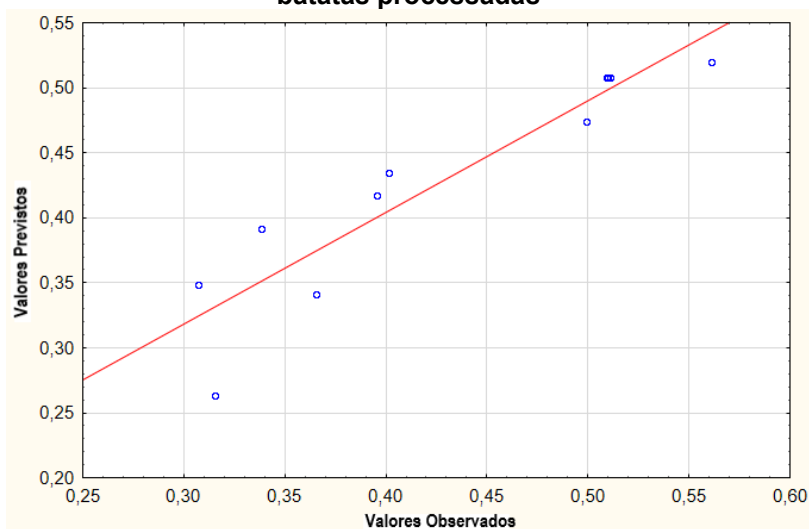
X1 = pH

X2 = a_w

As diferenças entre as respostas reais encontradas no planejamento desenvolvido em relação às respostas previstas pela equação do modelo do índice de compostos intermediários mantiveram-se entre -0,05 e 0,05. Observou-se no Gráfico 7, pela proximidade dos pontos da linha ajustada que esses valores foram pequenos,

comprovando a qualidade no ajuste do modelo previsto pela equação de regressão (equação 7), a qual explica adequadamente a faixa experimental estudada.

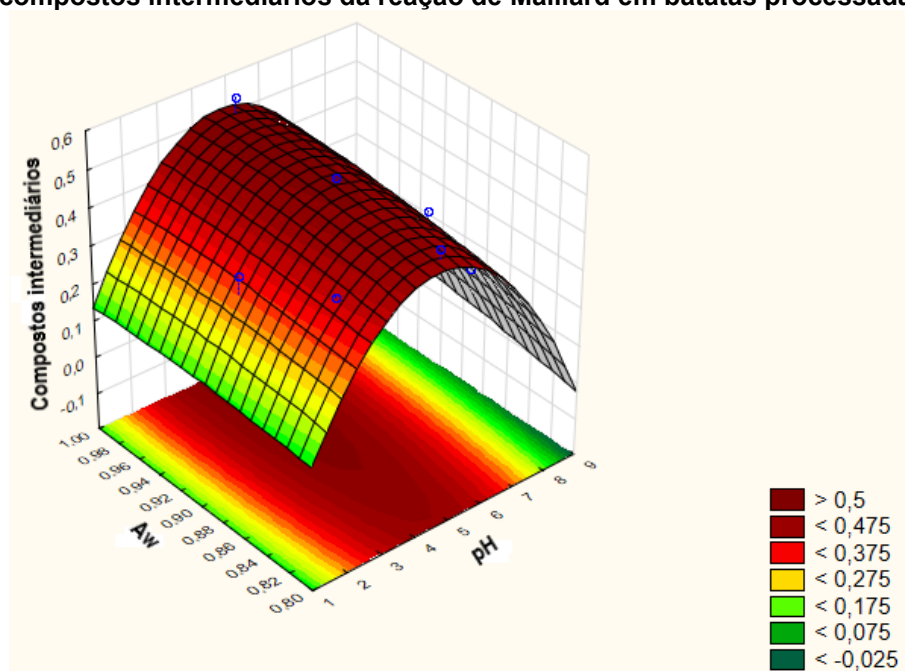
Gráfico 7 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de compostos intermediários do DCCR para estimativa do efeito do pH e a_w no escurecimento de batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 8 apresenta a superfície de resposta quadrática para a variação do índice de compostos intermediários em batata processada, no qual se pôde observar a região que permite otimizar a variável resposta estudada.

Gráfico 8 - Superfície de resposta quadrática para o efeito do pH e a_w na variação do índice de compostos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

Conforme já exposto, a variação do índice de compostos intermediários em função do pH e a_w inicial da batata processada exibiu uma região de máximo, a partir dos coeficientes de regressão quadráticos. Constatou-se no Gráfico 8 que os maiores valores para o índice de compostos intermediários ($>0,5$) corresponde a região vermelho escuro, nas quais foram utilizadas combinações de pH 5 com a_w de 0,90 e 0,99. Pela otimização numérica, um índice de compostos intermediários máximo (0,520) pode ser atingindo em condições de processamento que adotem pH de 4,82 e a_w de 0,99.

No entanto, um elevado índice de compostos intermediários geralmente não é interessante em produtos alimentícios, pois dentre esses, formados na fase intermediária da reação de Maillard, encontram-se o HMF e a 3-aminopropionamida, precursor da acrilamida, os quais têm chamado atenção da comunidade científica, por serem considerados prováveis carcinogênicos para seres humanos (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; CÓRDOVA *et al.*, 2019; CZERWONKA; OPIŁKA; TOKARZ, 2018). Esses compostos podem ser encontrados em uma ampla variedade de alimentos ricos em carboidratos e submetidos a processamento térmico, tais como, batata frita, pães, biscoitos e café (BETHKE, 2018; CAPUANO *et al.*, 2009; ZAMORA; DELGADO; HIDALGO, 2011). À vista disso, em produtos alimentícios, para os quais a coloração final não interfere na intenção de compra do consumidor e/ou a reação de Maillard é desejável, pode-se optar pelas condições que minimizam a formação de compostos intermediários.

No Gráfico 8, notaram-se duas regiões (em cor verde), com índices de compostos intermediários menores que 0,075, alcançados em pH inferiores a 3 ou superiores a 7 e a_w inferior a 0,84. Nesse estudo, o ensaio 2 (pH 7 e a_w 0,84) resultou no menor índice de compostos intermediários (0,307) em batatas processadas. Esses resultados podem ser interessantes para as indústrias de processamento de batatas fritas, uma vez que a reação de Maillard contribui para o sabor e cor característico do produto e levam ao acúmulo indesejável de acrilamida (BETHKE, 2018; CAPUANO; FOGLIANO, 2011; DEVAUX *et al.*, 2021). Assim, a redução da a_w e manutenção do pH natural da batata (6,0-7,0) são capazes de mitigar a formação de compostos intermediários. Em contrapartida, reduzir o pH para 3 não é uma opção viável, em razão das alterações nas propriedades sensoriais do alimento, assim como, tornaria o processo mais oneroso. Contudo, para informações mais contundentes em relação ao processamento de batatas fritas e a formação de acrilamida seria importante

considerar as condições de processamento específicas para este produto, que diferem dos procedimentos adotados para a batata pronta para o consumo, além de adicionar uma variável dependente própria para quantificação da concentração de acrilamida.

4.1.4 Perfil de Desejabilidade para Minimização dos Efeitos da Reação de Maillard na Cor das Batatas Processadas

De acordo com Barros Neto; Scarminio e Bruns (2011) para problemas de otimização com várias respostas pode-se descobrir os níveis dos fatores que produzirão o conjunto de respostas mais satisfatórias através da metodologia de otimização simultânea proposta por Derringer e Suich (1980), baseada na definição de um perfil de desejabilidade para cada variável dependente, combinando posteriormente todas as respostas em uma única medida (EREN; KAYMAK-ERTEKIN, 2007). A abordagem proposta por Derringer e Suich (1980) consiste em converter cada variável dependente em uma função de desejabilidade, a qual varia de 0 a 1. As respostas correspondentes a 0 significa um valor inaceitável, enquanto 1 refere-se ao valor mais desejável (DERRINGER, SUICH, 1980).

O *software* STATISTICA já utiliza a abordagem proposta por Derringer e Suich (1980), bastando apenas definir os valores correspondentes ao intervalo 0-1 para cada variável dependente para gerar o perfil de desejabilidade (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Considerando que em batatas processadas a cor amarela clara é altamente desejada pelos consumidores, sendo o primeiro atributo percebido, interferindo significativamente na decisão de compra (MOON *et al.*, 2019; TOIVONEN; BRUMMELL, 2008; WHITAKER; LEE, 1995) optou-se por delinear o perfil de desejabilidade com base nas variáveis dependentes L^* , a^* , b^* e índice de escurecimento, excluindo-se a princípio o índice de compostos intermediários, por apresentar resultados em direção oposta a minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor das batatas processadas. A Tabela 7 apresenta os parâmetros utilizados na otimização simultânea das variáveis dependentes conforme metodologia de Derringer e Suich (1980).

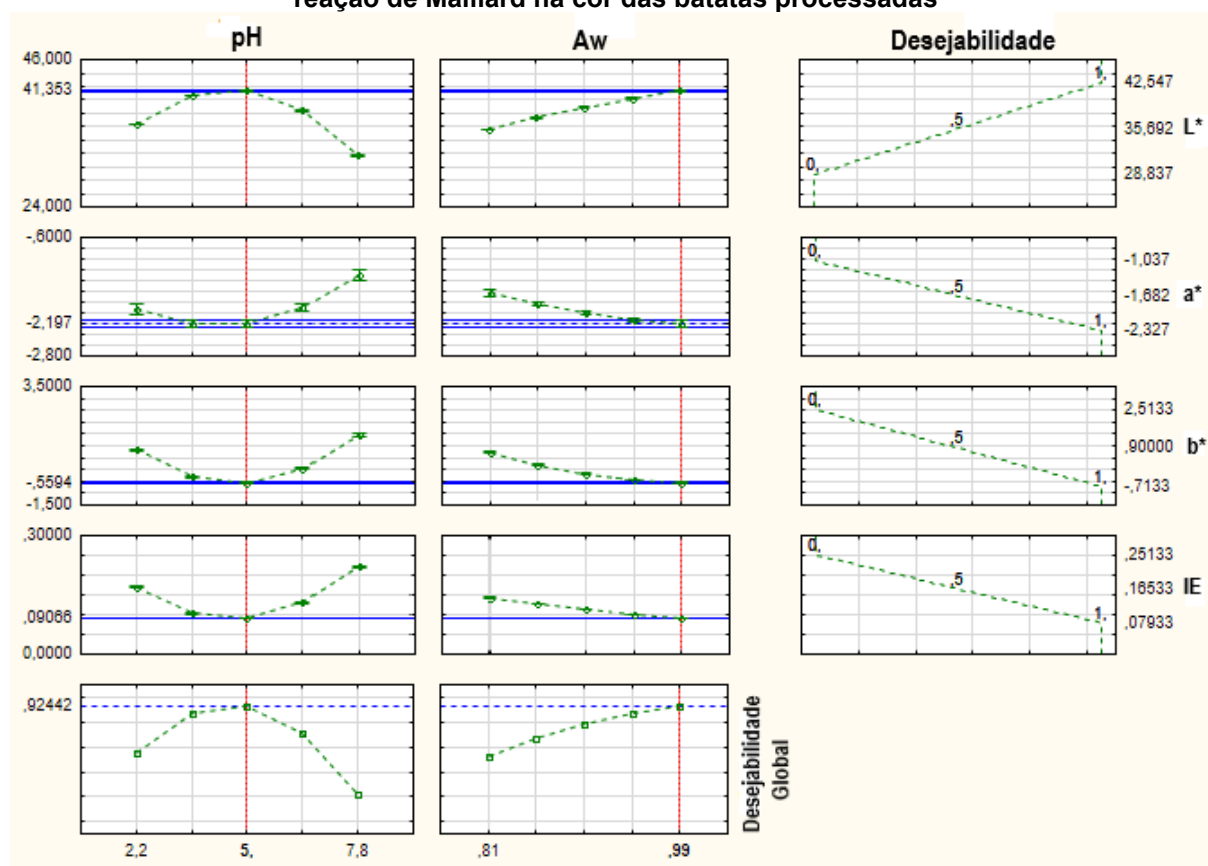
Tabela 7 - Parâmetros utilizados na otimização simultânea do pH e a_w para minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor de batatas processadas

Variáveis dependentes	Desejabilidade		
	1,0	0,5	0,0
Luminosidade	42,55	35,69	28,84
Parâmetro a^*	-2,33	-1,68	-1,04
Parâmetro b^*	-0,71	0,90	2,51
Índice de Escurecimento	0,079	0,165	0,251

Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 9 demonstra o perfil de desejabilidade para minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor das batatas processadas. Os gráficos da última coluna mostram os perfis das desejabilidades das variáveis respostas, definidos de acordo com os valores mencionados na Tabela 7.

Gráfico 9 - Perfil de desejabilidade para otimização do pH e a_w para minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor das batatas processadas



IE: índice de escurecimento

Fonte: autoria própria (2022)

Os gráficos de pH e a_w das variáveis dependentes ilustraram resultados já discutidos anteriormente e evidenciam que para as batatas processadas do presente estudo o aumento do pH, partindo de 2,2 até 5,0, bem como o acréscimo da a_w considerando a faixa de 0,81-0,99, tenderam a maximizar os valores de L^* e minimizar

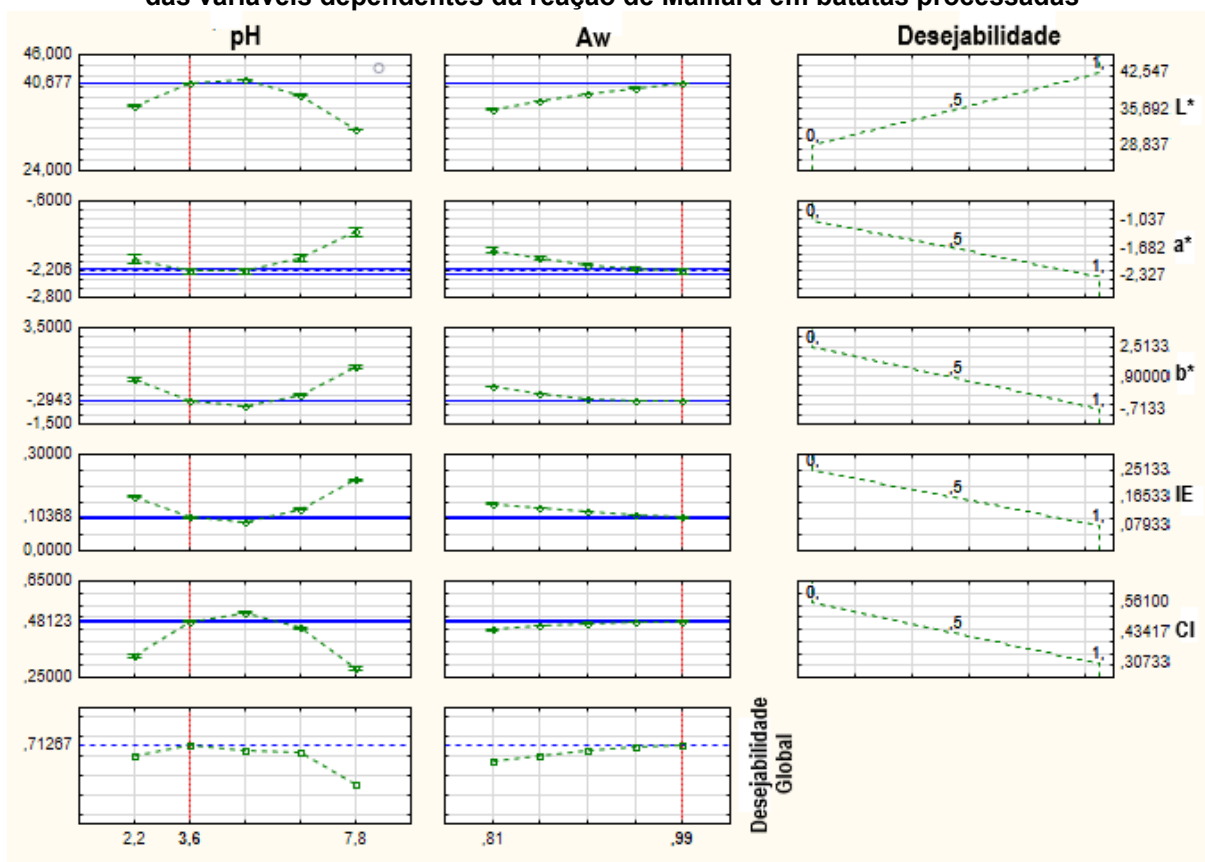
os valores de a^* , b^* e índice de escurecimento. Além disso, observou-se que os gráficos para os efeitos do pH nas variáveis dependentes apresentaram inclinações mais pronunciadas do que os da a_w , indicando que o pH é o principal fator para a determinação do ponto ótimo de processamento (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2011).

A máxima desejabilidade global para minimização dos efeitos da reação de Maillard na cor das batatas processadas chegou a 0,92, obtida em pH 5 e a_w de 0,99, de acordo com a última linha de gráficos. Nessas condições, obtém-se valores de L^* em torno de 41,35, a^* de -2,20, b^* de -0,56 e índice de escurecimento de 0,09, valores sinalizados pela linha azul nos respectivos gráficos.

Para produtos alimentícios processados, nos quais a coloração final não interfere na intenção de compra do consumidor e/ou a reação de Maillard é desejável, ou ainda naqueles altamente suscetíveis a formação de acrilamida e/ou HMF, como, batatas fritas (BETHKE, 2018; FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018; MIAO, 2014) pode-se optar por inserir no perfil de desejabilidade as condições que minimizam a formação de compostos intermediários. Para fins de conhecimento, acrescentaram-se aos parâmetros listados na Tabela 7, os valores de desejabilidade máxima (1,0) de 0,307, média (0,50) de 0,434 e mínima (0,0) de 0,561 para o índice de compostos intermediários e plotou-se o perfil de desejabilidade para otimização de todas as variáveis dependentes estudadas no desenvolvimento da reação de Maillard em batata processada (Gráfico 10).

Observou-se que ao inserir o perfil de desejabilidade para minimização da formação de compostos intermediários em batatas processadas, a máxima desejabilidade global passível de ser alcançada reduziu-se para 0,71. Isso ocorreu em função da presença de variáveis concorrentes (índice de compostos intermediários x L^* , a^* , b^* e índice de escurecimento), quando a melhoria de uma resposta desencadeia o efeito oposto em outras (EREN; KAYMAK-ERTEKIN, 2007). Por consequência, o ponto de máxima desejabilidade global, em que as melhores respostas para todas as variáveis podem ser atingidas, correspondeu ao processamento em pH 3,6 e a_w 0,99, resultando em L^* de 40,68, a^* de -2,20, b^* de -0,29, índice de escurecimento de 0,104 e índice de compostos intermediários de 0,481.

Gráfico 10 - Perfil de desejabilidade para otimização do pH e a_w para minimização dos efeitos das variáveis dependentes da reação de Maillard em batatas processadas



IE: índice de escurecimento; CI: índice de compostos intermediários

Fonte: autoria própria (2022)

Nessas condições de processamento, embora a formação de pigmentos escuros em batatas não foi completamente atenuada, situação alcançada em pH 5 e a_w 0,99 (Gráfico 9), possibilitou a redução de compostos intermediários presentes no produto. Portanto, a melhor condição de processamento a ser adotada depende das características do produto, bem como das exigências do mercado consumidor. Neste trabalho, a condição ótima escolhida para o processamento de batatas pronta para o consumo referiu-se a pH 5 e a_w 0,99, uma vez que a principal preocupação da agroindústria de processamento de alimentos, parceira desse estudo, é minimizar os efeitos da reação de Maillard na cor das batatas produzidas.

4.2 EFEITO DA CISTEÍNA E DA GLICINA BETAÍNA COMO AGENTES ANTI-ESCURECIMENTO EM BATATAS PROCESSADAS

A Tabela 8 apresenta os resultados encontrados para cor instrumental, índice de escurecimento e índice de compostos intermediários para cada ensaio do planejamento experimental para estudar efeito da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas. Os resultados obtidos para as batatas processadas inteiras contendo apenas ácido cítrico, para atingir o pH de aproximadamente 5,0 (condição otimizada no experimento anterior, não incluído no planejamento experimental mostrado na Tabela 2), foram L * de 53,67, a * de -1,73, b * de 15,08, índice de escurecimento de 0,075 e índice composto intermediário de 0,554.

Tabela 8 - Resultados obtidos para as variáveis dependentes do planejamento experimental para estimativa do efeito da cisteína e da glicina betaína no escurecimento em batatas processadas

Ensaio	Níveis reais variáveis independentes		Variáveis dependentes				
	Cisteína (%)	Glicina Betaína (%)	L	a*	b*	IE	CI
1	0,03	0,03	62,13	-1,60	15,65	0,094	0,272
2	0,21	0,03	64,98	-1,81	9,08	0,038	0,182
3	0,03	0,21	57,19	-0,37	20,42	0,148	0,345
4	0,21	0,21	61,61	-0,97	11,81	0,063	0,250
5	0,12	0,12	66,16	-2,74	8,54	0,022	0,163
6	0,12	0,12	66,18	-2,71	8,47	0,023	0,162
7	0,12	0,12	66,05	-2,76	8,38	0,023	0,162
8	0,12	0,00	68,10	-3,06	7,24	0,020	0,154
9	0,12	0,25	60,29	-0,75	25,75	0,069	0,233
10	0,00	0,12	59,45	-0,69	24,13	0,105	0,243
11	0,25	0,12	65,70	-2,26	9,12	0,026	0,163

IE: índice de escurecimento; CI: índice de compostos intermediários; pontos centrais: 5, 6 e 7.

Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se que mesmo as menores concentrações de cisteína e glicina betaína estudadas (ensaio 1) foram suficientes para melhorar significativamente ($p < 0,05$) os valores de L* e índice de compostos intermediários, indicando que estes compostos podem contribuir para reduzir os efeitos indesejáveis provocados pela reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo. À vista disso, os tratamentos 5,6,7 (0,12% de cisteína + 0,12% de glicina betaína) e 8 (0,12% de cisteína) apresentaram os melhores resultados para todas as variáveis dependentes,

minimizando tanto a formação de compostos marrons como a de compostos intermediários, condição não alcançada somente com a otimização do pH e a_w .

Isso possivelmente acontece em função do desenvolvimento de radicais livres durante o processo de aquecimento da cisteína, os quais podem inibir os radicais livres dos aminoácidos, resultando na dificuldade de geração dos compostos intermediários da reação de Maillard, além de dificultar a formação da melanoidina (BHARATE; BHARATE, 2014; ZENG *et al.*, 2017). Resultados semelhantes são relatados por Pacheco, Christian e Feng (2012), ao estudarem inibidores da reação de Maillard para o processamento da cana-de-açúcar quando 0,1% de cisteína reduz significativamente o escurecimento não enzimático em sistema contendo asparagina, glutamina e glicose. Por outro lado, o papel da glicina betaína como inibidor do escurecimento não está totalmente elucidado, mas se sabe que a glicina betaína mantém a estabilidade das membranas das células vegetais e proteínas sob condições de estresse, aumentando a tolerâncias a salinidade, altas e baixas temperaturas (FEDOTOVA; KRUCHININ, 2017; SUN *et al.*, 2020).

Esses resultados demonstram que a adição da cisteína associada ou não à glicina betaína, juntamente com o ácido cítrico, na etapa de imersão do processamento de batatas tem potencial para mitigar o escurecimento provocado durante o cozimento e esterilização em autoclave. O uso de aminoácidos como aditivos alimentares pode tornar o processo industrial mais oneroso, em função do preço mais elevado quando comparado ao MBS; no entanto, oferece a vantagem de possibilitar a certificação orgânica, processo com menor impacto ao meio ambiente e bem aceito pelos consumidores, podendo ser usados com segurança na indústria de alimentos (SAKAMOTO; MURATA, 2002; ZHOU *et al.*, 2018).

4.2.1 Modelagem de Superfície de Resposta para o Efeito da Cisteína e Glicina Betaína na Variação da Cor Instrumental em Batata Processada

A Tabela 9 apresenta os coeficientes lineares, quadráticos e de interação do efeito inicial da cisteína e glicina betaína sobre as coordenadas do espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ em batatas processadas pronta para o consumo. Todos os coeficientes foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$) ao nível de 95 % de confiança, sendo incluídos no modelo de regressão.

Tabela 9 - Coeficientes de regressão, valores de R² e valores de F do modelo ajustado para o efeito da cisteína e glicina betaína nas variáveis do espaço de cores CIE L*a*b* para estimativa do escurecimento em batatas processadas

Coeficientes	L*	p valor	a*	p valor	b*	p valor
Intercepto (β_0)	60,32	0,0000	-0,85	0,0017	21,10	0,0000
Lineares						
X1 (β_1)	88,61	0,0001	-26,33	0,0002	-152,56	0,0000
X2 (β_2)	10,83	0,0099	-7,61	0,0026	-50,69	0,0006
Quadráticos						
X1.X1 (β_{11})	-292,90	0,0001	96,01	0,0001	446,69	0,0000
X2.X2 (β_{22})	-177,94	0,0004	67,29	0,0004	430,27	0,0009
Interação						
X1.X2 (β_{12})	48,46	0,0078	-12,04	0,016	-62,96	0,0061
R ²	0,93		0,96		0,95	
CV (%)	0,76		-5,89		6,61	
Fcalculado	45,87		29,86		22,33	
Ftabelado	5,05		5,05		5,05	

X1:Cisteína; X2: Glicina Betaína; CV: coeficiente de variação

Fonte: autoria própria (2022)

Os coeficientes lineares da cisteína e glicina betaína indicaram que a adição desses agentes anti-escurecimento durante a etapa de imersão do processamento de batatas desencadeou um efeito positivo na coloração do produto, aumentando os valores de L* e reduzindo o de a* e b*. Da mesma forma, Zhang *et al.* (2018b) estudando o efeito da cisteína nas propriedades físico-químicas e de sabor dos produtos da reação de Maillard do peptídeo de soja verificam que a formação de cor é inibida pela adição de cisteína, resultando em maiores valores de L* e menores de a* e b*.

Todavia, os coeficientes quadráticos revelaram que o aumento constante da concentração de cisteína e glicina betaína não representaram redução progressiva da intensidade da reação de Maillard na coloração das batatas processadas, podendo exercer um efeito contrário do desejado. Situação similar foi demonstrada por Huang *et al.* (2011), na qual os valores de L*, a* e b* de hidrolisados de proteína de soja melhoram com o aumento da concentração de cisteína de 3 para 13 g kg⁻¹, sem alterações positivas quando a concentração de cisteína é aumentada de 13 para 16 g kg⁻¹.

Apesar do tratamento 8 (0,12% de cisteína) apresentar resultados superiores para os parâmetros de cor do que os tratamentos 5,6 e 7 (0,12% de cisteína + 0,12% de glicina betaína) observa-se na Tabela 9 que houve interação significativa entre a cisteína e a glicina betaína, mostrando que o uso em conjunto desses compostos contribui para aumentar o valor de L* e reduzir os valores de a* e b*, bastando apenas ajustar as concentrações para atingir melhores resultados.

Resumidamente o modelo de regressão apresentado para cor em batatas processadas apresentou qualidade na precisão e reprodutibilidade dos dados experimentais: R^2 entre 93-96%, menos de 10% de variação dos valores observados em relação à média das respostas (CV), Teste F significativo ao nível de 95% de confiança e valores de F calculado para L^* , a^* e b^* aproximadamente 9, 6 e 4 vezes maior que F tabelado, respectivamente, satisfazendo a predição do modelo de acordo os parâmetros de Box e Wetz (1973). Portanto, os modelos propostos para representar o efeito da cisteína e glicina betaína na variação das coordenadas do de cores CIE $L^*a^*b^*$ em batatas processadas correspondem às seguintes funções polinomiais de segunda ordem, respectivamente:

$$Y = 60,32 + 88,61 * X1 - 292,90 * X1^2 + 10,83 * X2 - 177,94 * X2^2 + 48,46 * X1 * X2$$

(8)

$$Y = -0,85 - 26,33 * X1 + 96,01 * X1^2 - 7,61 * X2 + 67,29 * X2^2 - 12,04 * X1 * X2$$

(9)

$$Y = 21,10 - 152,56 * X1 + 446,69 * X1^2 - 54,69 * X2 + 430,27 * X2^2 - 62,96 * X1 * X2$$

(10)

Onde:

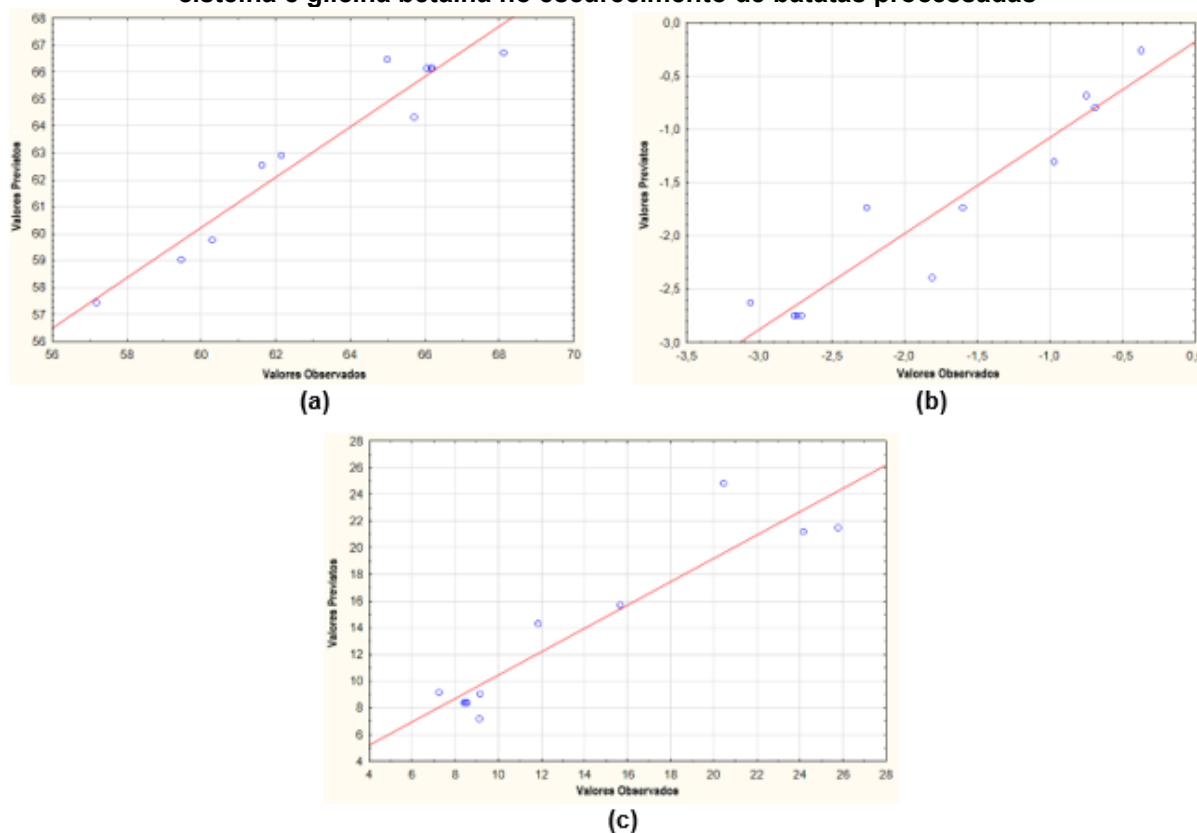
Y= variáveis dependentes (L^* , a^* e b^*)

X1 = Cisteína

X2 = Glicina Betaína

O Gráfico 11 (a, b e c) apresenta os resíduos dos modelos descritos nas equações 8, 9 e 10. As diferenças entre os valores observados e previstos permaneceram entre -1,50 e 1,37 para L^* , -0,53 e 0,57 para a^* e -4,44 e 4,19 para b^* , estando todos os pontos próximos à linha ajustada, ressaltando a qualidade do ajuste das funções do modelo proposto.

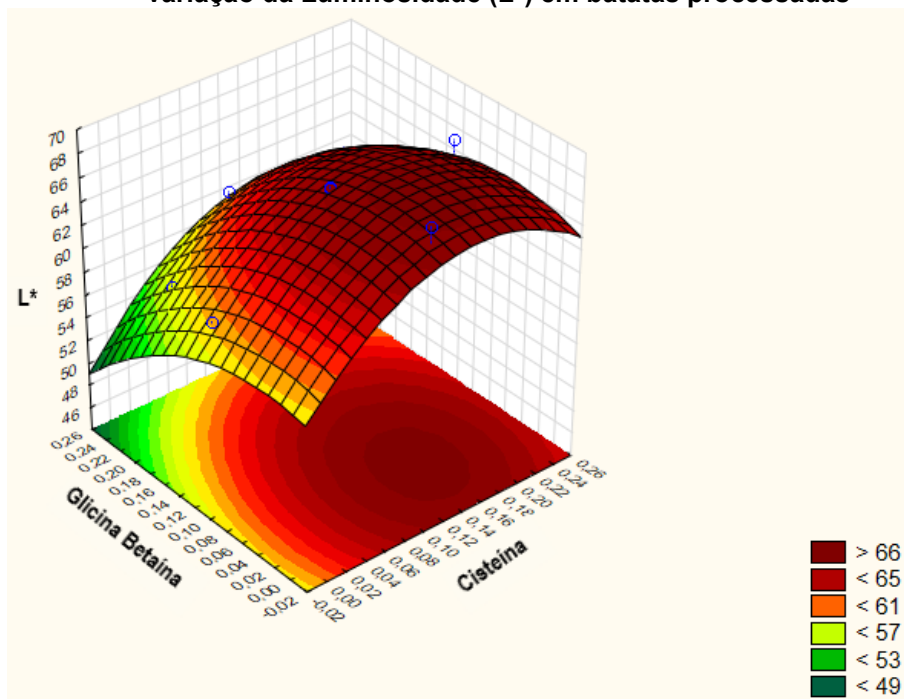
Gráfico 11 - Valores observados e valores previstos para os modelos propostos para Luminosidade (a), coordenada a* (b) e coordenada b* (c) do DCCR para estimativa do efeito da cisteína e glicina betaína no escurecimento de batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 12 exibe a superfície de resposta quadrática para L^* , no qual podem-se observar as concentrações de cisteína e glicina betaína que maximizam essa variável, dado que quanto maior o valor de L^* mais clara está a batata processada (TSOUVALTZIS; BRECHT, 2017; ZHANG *et al.*, 2015). Observou-se que a região de otimização (vermelho escuro no Gráfico 12) permaneceu entre 0,12 e 0,18% de cisteína e 0,02 e 0,08% de glicina betaína. Além disso, percebeu-se que concentrações de cisteína abaixo de 0,06% ou acima de 0,20%, bem como concentrações de glicina betaína acima de 0,12%, tenderam a se distanciar da região ótima, não sendo necessário utilizar maiores concentrações dos compostos estudados para verificar uma variação positiva na L^* das batatas processadas. A partir da otimização numérica, o ponto de maximização da L^* correspondeu a aproximadamente 0,16% de cisteína e 0,05% de glicina betaína, atingindo o valor de 67,49.

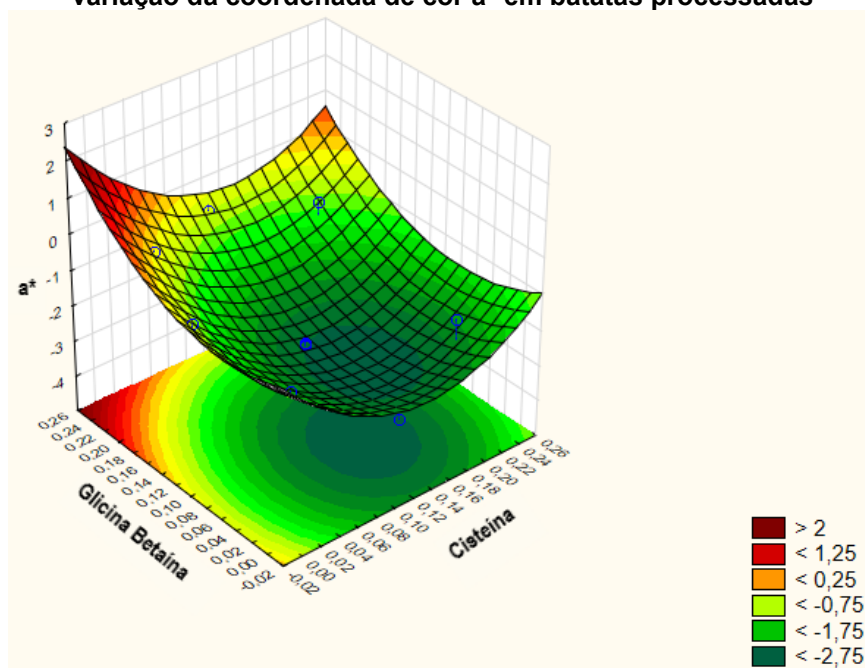
Gráfico 12 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaina na variação da Luminosidade (L*) em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 13 apresenta a superfície de resposta quadrática para a variação da coordenada de cor a* em batata processada em função da concentração de cisteína e glicina betaina.

Gráfico 13 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaina na variação da coordenada de cor a* em batatas processadas

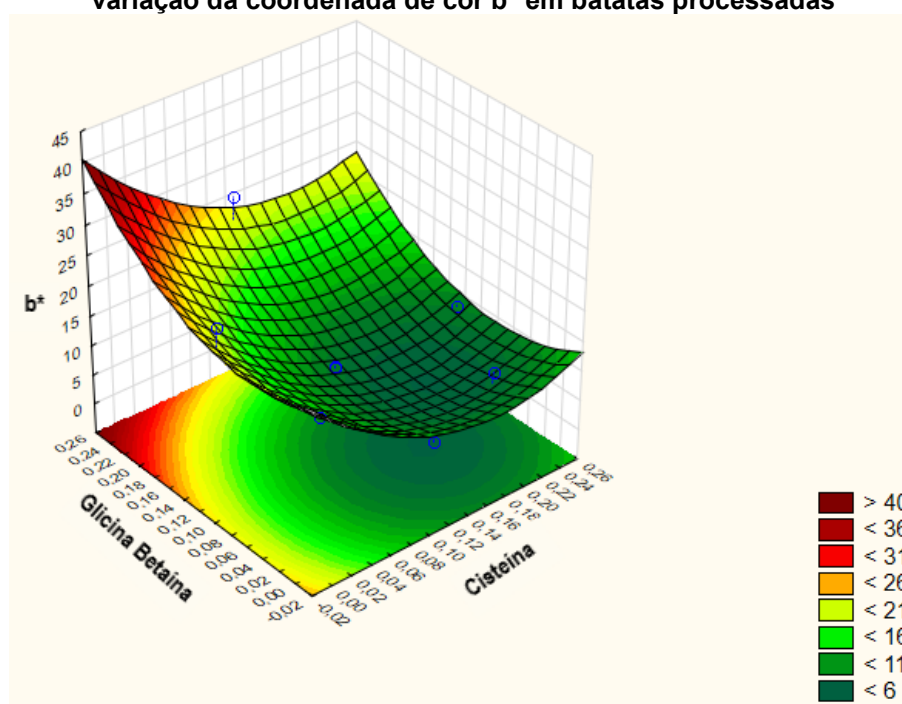


Fonte: autoria própria (2022)

A superfície de resposta para a coordenada de cor a^* exibiu uma região de mínimo, conforme coeficiente de regressão quadrático positivo (Tabela 9), devido ao fato de que quanto menor o valor de a^* menor a intensidade do escurecimento provocado pela reação de Maillard (KJÆR *et al.*, 2017; LOVATTO *et al.*, 2012; SERPEN; GÖKMEN, 2009). Dessa forma, notou-se no Gráfico 13 que a região ótima que permitiu minimizar a coordenada de cor a^* , alcançando valores menores que - 2,75 correspondeu a concentrações de cisteína entre 0,12-0,16% e glicina betaína entre 0,02-0,12%. Por meio da otimização numérica, encontrou-se que os pontos de mínimos equivaleram a 0,14% de cisteína e 0,07% glicina betaína, resultando em a^* - 2,97

O Gráfico 14 expõe a superfície de resposta tridimensional plotada com base na equação do modelo de regressão para coordenada de cor b^* (equação 10).

Gráfico 14 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação da coordenada de cor b^* em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

A cisteína e a glicina betaína reduziram os valores de b^* em batatas processadas prontas para o consumo, projetando uma superfície de resposta quadrática de minimização e estando de acordo com o esperado, visto que o aumento de b^* podem estar relacionadas a coloração marrom das melanoidinas (GOYENECHE *et al.* 2014). A região de otimização gráfica desta variável (verde escuro no Gráfico

14) correspondeu a faixa de 0,14-0,20% de cisteína e 0,04-0,10 de glicina betaína e a numérica ficou em torno de 0,17% de cisteína e 0,07 de glicina betaína com b^* de 5,87.

4.2.2 Modelagem de Superfície de Resposta para do Efeito da Cisteína e Glicina Betaína na Variação do Índice de Escurecimento em Batata Processada

A Tabela 10 apresenta os coeficientes lineares, quadráticos e de interação do efeito inicial da cisteína e glicina betaína sobre o índice de escurecimento em batatas processadas pronta para o consumo. Para todos os coeficientes, o p valor foi menor que 0,05, considerados estatisticamente significativos.

Tabela 10 - Coeficientes de regressão, valores de R^2 e valores de F do modelo ajustado para o efeito da cisteína e glicina betaína na variável índice de escurecimento para estimativa do escurecimento em batatas processadas

Coeficientes	Índice de escurecimento	p valor
Intercepto (β_0)	0,119	0,0000
Lineares		
X1 (β_1)	-1,19	0,0000
X2 (β_2)	-0,25	0,0013
Quadráticos		
X1.X1 (β_{11})	3,84	0,0000
X2.X2 (β_{22})	2,29	0,0001
Interação		
X1.X2 (β_{12})	-0,89	0,0016
R^2	0,91	
C.V (%)	2,99	
Fcalculado	32,93	
Ftabelado	5,05	

X1:Cisteína; X2: Glicina Betaína; CV: coeficiente de variação

Fonte: autoria própria (2022)

A cisteína e glicina betaína reduziram significativamente a formação de melanoidinas na fase final da reação de Maillard, quantificada pelo índice de escurecimento das batatas processadas, dado que os coeficientes lineares e de interação se apresentaram negativos. Entretanto, os coeficientes quadráticos significativos evidenciaram uma curvatura na resposta, indicando que a partir de determinadas concentrações de cisteína e glicina betaína, seu aumento não causa redução significativa no índice de escurecimento, podendo até mesmo aumentá-lo. Neste estudo, identificou-se que para batatas processadas pronta para o consumo o aumento das concentrações de cisteína e glicina betaína até 0,12% (ensaios 5, 6, 7 e 8 da Tabela 8) resultou no decréscimo do índice de escurecimento. Entretanto, o aumento contínuo até 0,25% não resultou em um efeito positivo na intensidade do

escurecimento provocado pela reação de Maillard. Resultados semelhantes foram relatados Zeng *et al.* (2017), ao investigarem os efeitos inibitórios de vários antioxidantes na intensidade do escurecimento da reação de Maillard no sistema proteína-açúcar de frango, quando relatam diminuições acentuadas ($p < 0,05$) no índice de escurecimento com a adição de L-cisteína até 1%, sem alterações significativas ($p > 0,05$) com o aumento contínuo do conteúdo de L-cisteína até 2%.

O R^2 apontou que uma alta proporção (91%) da variabilidade do índice de escurecimento pôde ser considerada pelo modelo. O CV indicou 2,99% de dispersão entre os pontos observados e os previstos. O modelo de regressão foi estatisticamente significativo ao nível de 95% de confiança, bem como a proporção entre F calculado e F tabelado foi em torno de 6,5. Todos esses parâmetros atestaram a qualidade do ajuste, reprodutibilidade e predição do modelo de regressão para o índice de escurecimento, apresentado na Equação 11.

$$Y = 0,119 - 1,19 * X1 + 3,84 * X1^2 - 0,25 * X2 + 2,29 * X2^2 - 0,89 * X1 * X2 \quad (11)$$

Onde:

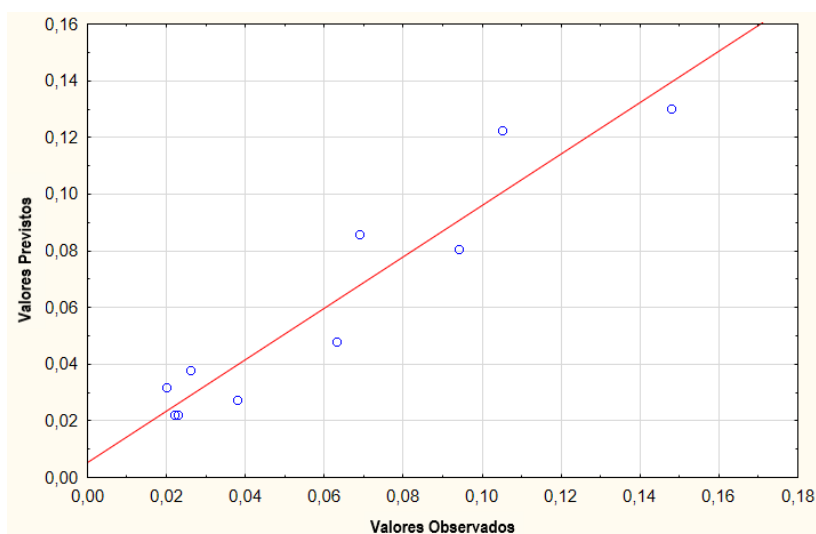
Y= variável dependente (índice de escurecimento)

X1 = Cisteína

X2 = Glicina betaína

As diferenças entre as respostas reais plotadas e as respostas previstas para o índice de escurecimento em batatas processadas são apresentadas no gráfico dos resíduos (Gráfico 15). A proximidade dos pontos da linha ajustada mostrou um bom ajuste do modelo na faixa experimental estudada para as variáveis independentes (0,03-0,25%). O maior valor residual (0,018) encontrado correspondeu ao ensaio 3 com valor observado de 0,148 e previsto de 0,130, enquanto, que o menor foi registrado para o ensaio 5 (-0,000008).

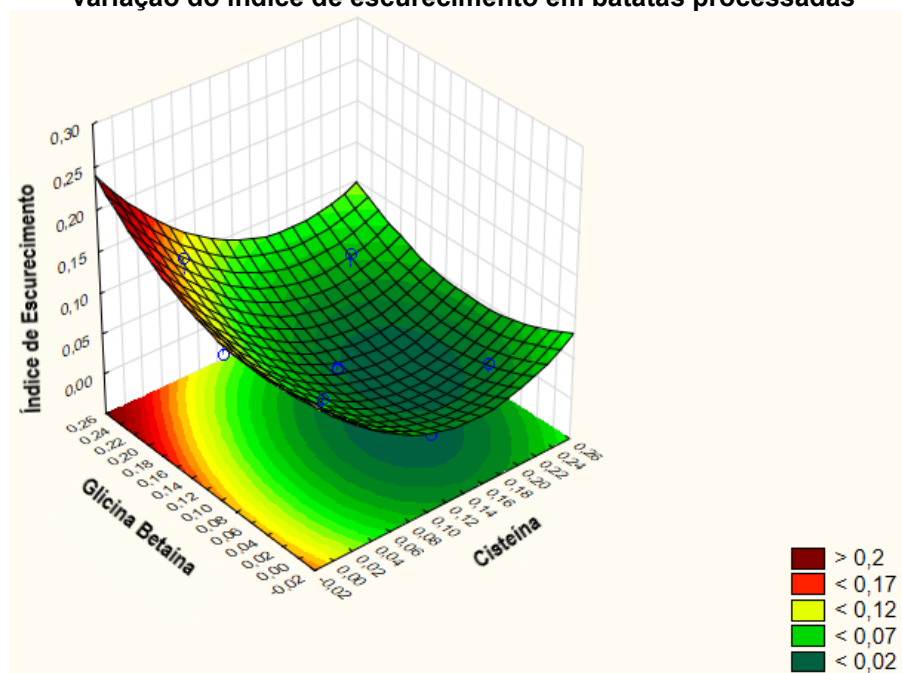
Gráfico 15 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de escurecimento do DCCR para estimativa do efeito da cisteína e glicina betaína no escurecimento de batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

Para visualizar os efeitos combinados da cisteína e glicina betaína no índice de escurecimento foi gerada a superfície de resposta quadrática (Gráfico 16) com base na equação do modelo (Equação 11).

Gráfico 16 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaína na variação do índice de escurecimento em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

O planejamento experimental evidenciou que o índice de escurecimento mínimo para o processamento de batatas prontas para o consumo (região verde escuro no Gráfico 16) foi alcançado nas concentrações de cisteína entre 0,12-0,20% e glicina betaína entre 0,04-0,12%. Por meio da otimização numérica, previu-se que o índice de escurecimento mínimo (0,011) pode ser alcançado em meio de imersão otimizado composto por 0,16% de cisteína e 0,08 de glicina betaína.

Considerando que no meio industrial o objetivo geralmente é oferecer aos clientes qualidade sem fugir dos custos (TUBINO, 2015), para a indústria de processamento de vegetais talvez seja mais interessante utilizar as menores concentrações de cisteína e glicina betaína com resultado dentro da região otimizada ao invés das concentrações mencionadas pela otimização numérica, pois, a diferença percebida pelos consumidores na cor do produto pode não justificar o aumento dos custos com maior concentração dos agentes anti-escurecimento.

4.2.3 Modelagem de Superfície de Resposta para do Efeito da Cisteína e Glicina Betaína na Variação do Índice de Compostos Intermediários em Batata Processada

A Tabela 11 apresenta os coeficientes lineares, quadráticos e de interação do efeito inicial da cisteína e glicina betaína sobre o índice de compostos intermediários em batatas processadas pronta para o consumo. Todas as variáveis do processo, as quais incluem cisteína (X1), glicina betaína (X2) e a interação entre X1 e X2 tiveram efeito significativo no índice de compostos intermediários ($p < 0,05$).

Tabela 11 - Coeficientes de regressão, valores de R² e valores de F do modelo ajustado para o efeito da cisteína e glicina betaína na variável índice de compostos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas

Coeficientes	Compostos intermediários	p valor
Intercepto (β_0)	0,299	0,0000
Lineares		
X1 (β_1)	-1,60	0,0000
X2 (β_2)	-0,60	0,0003
Quadráticos		
X1.X1 (β_{11})	4,88	0,0000
X2.X2 (β_{22})	3,94	0,0001
Interação		
X1.X2 (β_{12})	-0,15	0,0494
R ²	0,79	
C.V (%)	0,74	
Fcalculado	12,46	
Ftabelado	5,05	

X1:Cisteína; X2: Glicina Betaína; CV: coeficiente de variação

Fonte: autoria própria (2022)

Os coeficientes negativos dos termos lineares da cisteína e glicina betaína indicaram que o índice de compostos intermediários diminuiu com o aumento dessas variáveis. Os coeficientes quadráticos mostraram que, dependendo da concentração de agentes anti-escurecimento já no banho de imersão, seu aumento contínuo desencadeará o acréscimo da quantidade de compostos gerados na fase intermediária da reação de Maillard. O coeficiente de interação significativo e negativo demonstrou que o uso combinado da cisteína e glicina betaína reduziu o índice de compostos intermediários.

Hemmler *et al.* (2018) estudando sobre a química das reações de escurecimento não enzimático em diferentes sistemas de modelo ribose-aminoácido menciona que, após dez horas, a glicina e a cisteína formam a menor quantidade de produtos do estágio intermediário da reação de Maillard. Além disso no sistema modelo de cisteína, o número de produtos de decomposição da ribose produzidos é consideravelmente menor do que para os outros aminoácidos (lisina, isoleucina e glicina). Assim, a cisteína parece não apenas suprimir o escurecimento nas reações de Maillard, mas também a geração de compostos intermediários, uma vez que produtos de degradação do açúcar, incluem furfural e dicarbonilos (HEMMLER, *et al.* 2018).

O modelo de regressão explicou 79% da variabilidade total do índice de compostos intermediários em batatas processadas. O CV evidenciou baixa dispersão dos pontos experimentais em relação a previsão do modelo. O valor F de 12,46 implicou que o modelo é estatisticamente significativo, no entanto, sendo apenas 2,47 vezes maior que Ftabelado não é útil para fins preditivos, segundo Box e Wetz (1973). Portanto, o modelo de regressão apresentou qualidade no ajuste e reprodutibilidade, sendo a equação que descreve o efeito das variáveis do processo no índice de compostos intermediários, dada como:

$$Y = 0,299 - 1,60 * X1 + 4,88 * X1^2 - 0,60 * X2 + 3,94 * X2^2 - 0,15 * X1 * X2 \quad (12)$$

Onde:

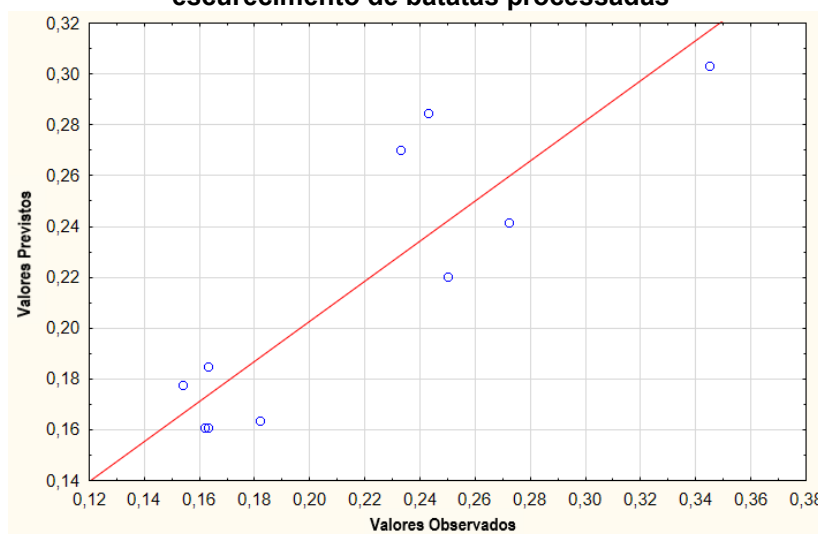
Y= variável dependente (índice de compostos intermediários)

X1 = Cisteína

X2 = Glicina betaína

O gráfico dos resíduos (Gráfico 15) foi plotado para investigar a qualidade do ajuste das funções do modelo proposto (equação 12). Os dados experimentais mais distantes dos dados previstos foram registrados para os ensaios 3 e 10, com valores residuais de 0,041 e -0,041, respectivamente. Os ensaios 6 e 7 ficaram mais próximos da linha ajustada, ambos com 0,0012 de valor residual.

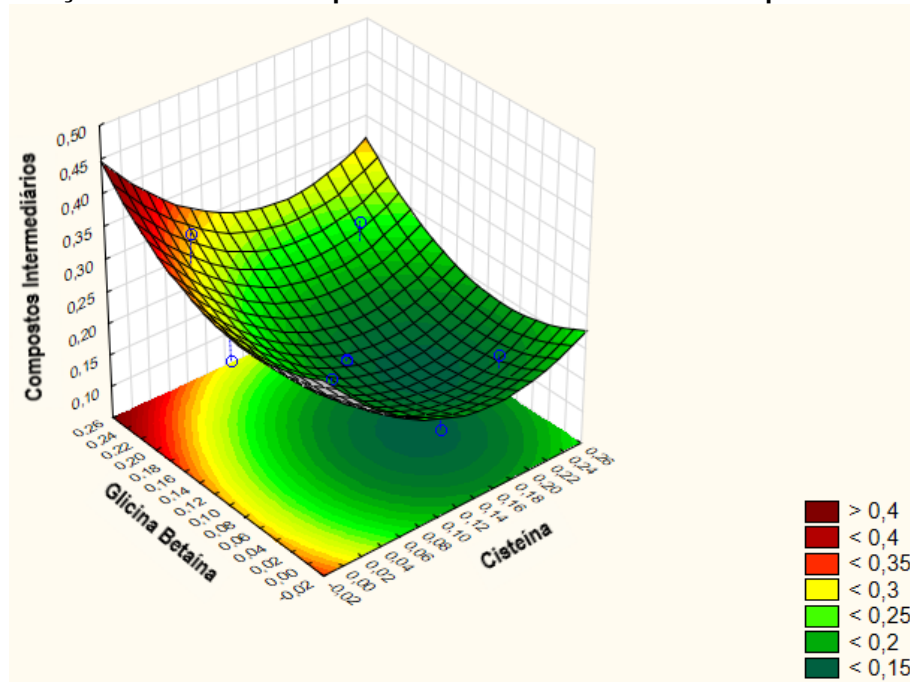
Gráfico 17 - Valores observados e valores previstos para o modelo proposto para o índice de compostos intermediários do DCCR para estimativa do efeito da cisteína e glicina betaína no escurecimento de batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 18 mostra o índice de compostos intermediários de batatas processadas em função da concentração de cisteína e glicina betaína. Os coeficientes quadráticos explicaram a natureza curvilínea, observando-se uma região de mínimo (<0,15) compreendida de 0,14-0,20% de cisteína e 0,06-0,12% de glicina betaína. O ponto numérico que produz o índice de escurecimento ótimo de 0,144 pode ser obtido para batatas processadas na combinação otimizada de aproximadamente 0,16% de cisteína e 0,08 de glicina betaína.

Gráfico 18 - Superfície de resposta quadrática para o efeito da cisteína e glicina betaina na variação do índice de compostos intermediários em batatas processadas



Fonte: autoria própria (2022)

Com a otimização do pH e a_w em batatas processadas pôde-se minimizar apenas as variáveis de cor (L^* , a^* e b^*) e o índice de escurecimento, entretanto, combinando com o uso da cisteína e glicina betaína, além de maximizar a capacidade de atenuar o escurecimento também se reduziu a formação de compostos intermediários. A formação de compostos marrons em batatas processadas prontas para o consumo compromete a aparência do produto, uma vez que o tom amarelo claro uniforme é mais atraente para consumidores (HUANG *et al.*, 2011; MOON *et al.*, 2019). Da mesma forma, altas quantidades de compostos intermediários afetam a qualidade do produto, considerados compostos tóxicos e possíveis mutagênicos têm causado preocupações nos consumidores e comunidade científica (CÓRDOVA *et al.*, 2019; FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018; NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019). Desta forma, suprimir esses dois aspectos com o uso combinado do controle do pH, cisteína e glicina betaína pode revelar um potencial substituto para o MBS para indústria que desejam implementar um processamento orgânico e/ou oferecer um produto convencional mais saudável e sustentável.

4.2.4 Perfil de Desejabilidade para Otimização da Cisteína e Glicina Betaína no Processamento de Batatas

Observou-se nos gráficos das superfícies de respostas que as concentrações ótimas de cisteína e glicina betaína apresentaram-se na mesma faixa de otimização, contudo, numericamente foram ligeiramente diferentes para os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), índice de escurecimento e índice de compostos intermediários. Dessa forma, foi aplicada a metodologia de otimização simultânea proposta por Derringer e Suich (1980), definindo um perfil de desejabilidade para cada variável dependente (Tabela 12) visando encontrar as concentrações ótimas de cisteína e glicina betaína que minimizem todos os parâmetros relacionados a intensidade da reação de Maillard em batatas processadas.

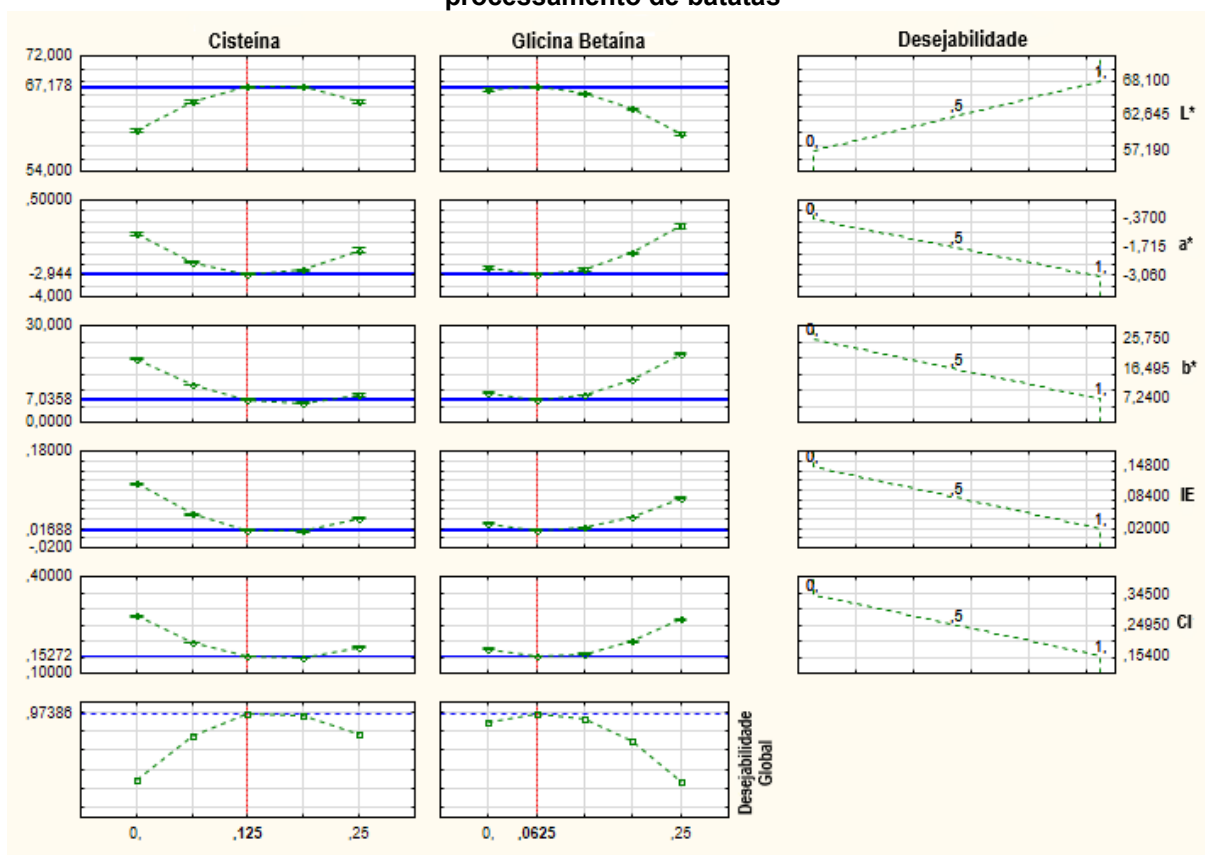
Tabela 12 - Parâmetros utilizados na otimização simultânea da cisteína e glicina betaína para minimização da intensidade da reação de Maillard em de batatas processadas

Variáveis dependentes	Desejabilidade		
	1,0	0,5	0,0
Luminosidade	68,10	62,65	57,19
Parâmetro a^*	-3,06	-1,72	-0,37
Parâmetro b^*	7,24	16,50	25,75
Índice de Escurecimento	0,020	0,084	0,148
Índice de Compostos Intermediários	0,154	0,250	0,345

Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 19 exibe o perfil de desejabilidade para otimização das concentrações cisteína e glicina betaína visando reduzir os efeitos da reação de Maillard no processamento de batatas. Notou-se que a adição de cisteína até a concentração de 0,125% e glicina betaína até 0,0625% melhorou progressivamente os resultados para as variáveis dependentes estudadas, mitigando a formação de melanoidinas e compostos intermediários da reação de Maillard. No entanto, concentrações acima destas tenderam a manter os resultados estáveis e declinando-os próximo a 0,25%. Dessa forma, de acordo com o perfil de desejabilidade traçado (última coluna de gráficos), o ponto de otimização simultânea (0,125% de cisteína + 0,0625% de glicina betaína) fornecerá L^* de 67,18, a^* de -2,94, b^* de 7,04, índice de escurecimento de 0,017 e índice de compostos intermediários de 0,153 atingido desejabilidade global de 97%.

gráfico 19 - Perfil de desejabilidade para otimização da cisteína e glicina betaína no processamento de batatas



IE: índice de escurecimento; CI: índice de compostos intermediários

Fonte: autoria própria (2022)

Com esse estudo, notou-se que tanto a cisteína como a glicina betaína exerceram importante influência no grau de escurecimento provocado pela reação de Maillard em batatas processadas prontas para o consumo. Portanto, o ponto ótimo gerado pelo DCCR, no tratamento contendo a 0,125% de cisteína e 0,0625% de glicina betaína, foi selecionado para compor os testes da última etapa experimental (efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química da batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento). O ensaio 8 (0,12% de cisteína) também foi selecionado, uma vez que os resultados ficaram próximos da condição otimizada, fato que do ponto de vista industrial pode ser mais interessante por apresentar bons resultados somente com o uso da cisteína, não implicando em gastos com a glicina betaína, já que em um ambiente concorrencial os custos nos quais uma empresa incorre para disponibilizar produtos acabados aos seus clientes são informações importantes a serem consideradas para o apoio a uma determinada decisão (BORNIA, 2008).

4.3 FERMENTAÇÃO LÁTICA PARA REDUÇÃO DO ESCURECIMENTO NÃO ENZIMÁTICO EM BATATAS PROCESSADAS

4.3.1 Efeito da Fermentação Lática no Teor de Sólidos Solúveis Totais, pH e Açúcares Redutores Totais em Batatas Antes do Processamento Térmico

A Tabela 13 apresenta os resultados encontrados para sólidos solúveis totais, pH e açúcares redutores totais em batatas submetidas a fermentação lática, antes do processamento térmico, para avaliar o efeito do processo fermentativo. Os resultados estão expressos como média \pm desvio padrão.

Tabela 13 - Resultados obtidos para sólidos solúveis totais, pH e açúcares redutores totais em batatas submetidas a fermentação lática para redução do escurecimento não enzimático

Tratamento	Sólidos Solúveis Totais (° Brix)	Açúcares Redutores Totais (gL ⁻¹)	pH
F1	5,7 \pm 0,5 ^e	31,88 \pm 0,64 ^a	7,19 \pm 0,02 ^a
F2	19,4 \pm 0,6 ^a	28,38 \pm 0,24 ^b	7,20 \pm 0,02 ^a
F3	18,5 \pm 0,5 ^a	24,81 \pm 0,04 ^d	7,12 \pm 0,01 ^b
F4	15,6 \pm 0,5 ^b	27,11 \pm 0,26 ^c	7,01 \pm 0,03 ^c
F5	12,8 \pm 0,7 ^c	21,56 \pm 0,04 ^e	7,00 \pm 0,02 ^c
F6	11,3 \pm 0,6 ^d	17,47 \pm 0,16 ^f	6,97 \pm 0,03 ^c

F1: Controle 1, batata *in natura*; F2: Controle 2, batata branqueada; F3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; F4: Batata branqueada + 120 minutos de fermentação; F5: Batata branqueada + 180 minutos de fermentação; F6: Batata branqueada + 240 minutos de fermentação. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

O teor de sólidos solúveis totais é um parâmetro de qualidade importante para mensurar a concentração das partículas sólidas (açúcares, ácidos, fenóis, aminoácidos, pectinas solúveis, ácido ascórbico e minerais) em uma solução e geralmente infere indiretamente o nível de açúcar dissolvido na amostra. No entanto, embora seja uma análise rápida e de baixo custo, apenas o teor de sólidos solúveis totais é insuficiente para indicar precisamente a concentração de açúcar de uma amostra, sendo comum estar associado a outros parâmetros quantitativos (RADY *et al.*, 2014).

Observou-se que as batatas submetidas ao processo de branqueamento (F2) apresentaram teor de sólidos solúveis totais significativamente superior aos das batatas *in natura* (F1). Esse aumento parece estar associado à hidrólise e à solubilização de polímeros estruturais da parede celular da batata, provocados pelo aquecimento (MATÉ *et al.*, 1998) e não ao acréscimo da concentração de açúcares,

uma vez o processo de branqueamento reduziu a concentração de açúcares redutores totais nas amostras de batatas. Segundo Mukherjee e Chattopadhyay (2007), a perda de açúcar redutor durante o branqueamento com água quente é um processo baseado em difusão, intensificado pela solubilidade dos açúcares. Essa difusividade ocorre nos primeiros segundos de branqueamento; em seguida, o processo de gelatinização parcial ou total do amido, dependendo da temperatura, acarreta alterações microestruturais que afetam o tecido da batata, dificultando a perda de açúcares redutores (PEDRESCHI *et al.*, 2009).

O processo de fermentação láctica reduziu gradativamente o teor de sólidos solúveis totais nas batatas após 120 minutos do período experimental, estando associado a perda significativa de açúcares redutores totais, verificado a partir de 45 minutos de fermentação. Os efeitos combinados de branqueamento e fermentação representaram um declínio na concentração de açúcares redutores totais de 22,18% após 45 minutos, 14,96% após 120 minutos, 32,37% após 180 minutos e 45,20% quando a fermentação continuou por 240 minutos. Mostafa, Ali e Mahmoud (2019), ao estudarem a fermentação láctica para redução de acrilamida formada durante a produção de batata frita revelam decréscimo de 28,83% do teor de açúcares após 60 minutos e 42,74% após 90 minutos de fermentação em palitos de batata variedade Cara. Esses resultados estão de acordo com o esperado, dado que a fermentação caracteriza-se pela metabolização dos carboidratos em ácido láctico (BAARDSETH *et al.*, 2006; BLOM *et al.*, 2009).

O aumento significativo de açúcares redutores após 120 minutos de fermentação pode ter sido causado pela hidrólise da sacarose em glicose e frutose. Em geral, as linhagens de *Lactobacillus acidophilus* fermentam primeiramente glicose e frutose, seguido da sacarose, lactose e galactose (SRINIVAS, MITAL; GARG, 1990). A sacarose é hidrolisada pela atividade da β -frutofuranosidase, enzima constitutiva, presente na fração solúvel na célula de *Lactobacillus acidophilus*, necessária para romper a ligação β (1-2) da sacarose (MITAL; GARG, 1992; MITAL; SHALLENBERGER; STEINKRAUS, 1973.). A β -frutofuranosidase catalisa a transferência de uma molécula de frutose da sacarose para uma variedade de moléculas aceitadoras, como água, resultando no processo de hidrólise (GÄNZLE; VERMEULEN; VOGEL, 2007). Resultados semelhantes são mostrados por Lee *et al.* (2016), ao avaliarem a fermentação por *Bacillus sp.* para redução de acrilamida em fatias de batatas fritas, quando relatam que após duas horas de fermentação há

redução na concentração de açúcares redutores, a qual aumenta no decorrer de 4 horas devido a atividade da amilase.

O processo de branqueamento realizado nas batatas não afetou o pH do produto, enquanto a fermentação promoveu a redução significativa do pH após 45 (7,12) e 120 (7,00) minutos, a partir de quando permaneceu estável pelo restante do período experimental. A atenuação do pH durante a fermentação ocorre devido ao acúmulo de ácidos orgânicos. Como o *Lactobacillus acidophilus* é homofermentativo, metaboliza os açúcares predominantemente em ácido láctico (MITAL; GARG, 1992). O rendimento de ácido láctico é de 1,8 mol/mol de glicose, acompanhado por pequenas quantidades de outros compostos, resultando no decréscimo do pH (GOMES; MALCATA, 1999). Anese *et al.* (2009) ao avaliar o efeito da imersão química e biológica na formação de acrilamida em batatas fritas menciona que a fermentação realizada com *Lactobacillus plantarum* por 75 minutos causa significativa diminuição do pH em cubos de batatas.

4.3.2 Efeito da Fermentação Láctica na Redução do Escurecimento Provocado Pela Reação de Maillard em Batatas Processadas

A Tabela 14 apresenta os resultados encontrados para acidez total titulável, cor, índice de escurecimento e índice de compostos intermediários em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento. Os resultados estão expressos como média \pm desvio padrão.

Tabela 14 - Resultados encontrados para acidez total titulável, cor (L^* a^* b^*), índice de escurecimento e índice de compostos intermediários em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático

Tratamento	Acidez Total Titulável (% ácido láctico m/m)	Cor instrumental			Índice de Escurecimento	Índice de Compostos intermediários
		L^*	a^*	b^*		
F1	0,339 \pm 0,01 ^b	48,43 \pm 0,64 ^e	2,35 \pm 0,13 ^a	14,78 \pm 0,32 ^a	0,102 \pm 0,00 ^a	0,512 \pm 0,01 ^a
F2	0,314 \pm 0,02 ^b	49,81 \pm 0,36 ^e	-1,88 \pm 0,11 ^b	11,44 \pm 0,76 ^b	0,079 \pm 0,00 ^b	0,443 \pm 0,01 ^b
F3	0,377 \pm 0,02 ^a	60,25 \pm 0,67 ^c	-2,06 \pm 0,11 ^{bc}	7,19 \pm 0,45 ^c	0,068 \pm 0,00 ^c	0,374 \pm 0,03 ^c
F4	0,386 \pm 0,01 ^a	57,88 \pm 0,47 ^d	-2,29 \pm 0,13 ^c	6,61 \pm 0,40 ^c	0,072 \pm 0,00 ^c	0,347 \pm 0,03 ^c
F5	0,388 \pm 0,01 ^a	64,48 \pm 0,33 ^b	-2,99 \pm 0,03 ^d	5,09 \pm 0,23 ^d	0,063 \pm 0,00 ^d	0,310 \pm 0,01 ^d
F6	0,391 \pm 0,02 ^a	66,29 \pm 0,22 ^a	-3,25 \pm 0,12 ^d	3,73 \pm 0,11 ^e	0,059 \pm 0,00 ^e	0,313 \pm 0,02 ^d

F1: Controle 1, batata *in natura*; F2: Controle 2, batata branqueada; F3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; F4: Batata branqueada + 120 minutos de fermentação; F5: Batata branqueada + 180 minutos de fermentação; F6: Batata branqueada + 240 minutos de fermentação. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

A acidez titulável está relacionada à concentração de ácidos orgânicos presentes em um alimento, sendo importante parâmetro de qualidade para verificar a influência da fermentação no produto. Observou-se que o processo de fermentação causou aumento significativo na acidez total titulável das batatas processadas prontas para o consumo; no entanto, o tempo de fermentação não apresentou um efeito pronunciado nesse parâmetro, concomitantemente com os resultados obtidos para o pH. Baardseth *et al.* (2006) sugerem que o efeito da fermentação por *Lactobacillus* é limitado às camadas externas do material vegetal tendo, portanto, a quantidade total de ácido lático gerado menor influência na acidez final do produto, em razão da maior parte do ácido lático permanecer no caldo de fermentação (LIANG; MCDONALD; COATS, 2015). Similarmente, Panda, Parmanick e Ray (2007) evidenciam incremento da acidez total titulável em batata doce após 7 dias de fermentação láctica, com valores constantes até 28 dias do período experimental.

A cor e o índice de escurecimento são os principais parâmetros quantitativos de qualidade indicadores da extensão da reação de Maillard após o processamento térmico, haja vista que o escurecimento se relaciona diretamente com a formação de compostos marrons do estágio final da reação (ACEVEDO; SCHEBOR; BUERA, 2008; AJLOUNI; PAN, 2014; PARAVISINI; PETERSON, 2018; ZHANG *et al.*, 2015). As diferenças na cor também podem ser notadas qualitativamente na Figura 5.

Figura 10 - Aparência de batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático



F1: Controle 1, batata *in natura*; F2: Controle 2, batata branqueada; F3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; F4: Batata branqueada + 120 minutos de fermentação; F5: Batata branqueada + 180 minutos de fermentação; F6: Batata branqueada + 240 minutos de fermentação. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Verificou-se que as batatas submetidas ao processo de branqueamento (F2) não diferiram significativamente no valor de L^* em relação a batata *in natura* (F1), entretanto reduziram os valores do parâmetro a^* e b^* , indicando redução no

escurecimento, posto que a maior formação de compostos escuros eleva o valor de a^* e b^* (GOYENECHE *et al.*, 2014; LOVATTO *et al.*, 2012; SERPEN; GÖKMEN, 2009). A redução no valor b^* estava correlacionada (0,911) significativamente e positivamente com a redução do teor de açúcares redutores (Tabela 15) provocada pelo branqueamento, podendo estar associado ainda à inativação da PPO, enzima responsável pelo escurecimento enzimático (MESQUITA; QUEIROZ, 2013; QUEIROZ *et al.*, 2008). Da mesma forma, estudo anterior destaca que o branqueamento reduz a coloração marrom em fatias de batatas fritas, obtendo resultado melhores quando o branqueamento é associado a fermentação (BAARDSETH *et al.*, 2006).

Tabela 15 - Correlação de Pearson entre as variáveis cor (L^* a^* b^*), índice de escurecimento, índice de compostos intermediários e açúcares redutores totais em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático

Variáveis	Açúcares Redutores Totais	
	Correlação de Pearson	p valor
Luminosidade (L^*)	-0,941	0,005
Coordenada a^*	0,803	0,054
Coordenada b^*	0,911	0,011
Índice de Escurecimento	0,902	0,014
Índice de Compostos intermediários	0,877	0,022

$p < 0,05$ indica correlação significativa ao nível de 95% de confiança

Fonte: autoria própria (2022)

As batatas submetidas a fermentação láctica aumentaram gradativamente o valor de L^* e reduziram os valores de a^* e b^* conforme se ampliava o tempo da fermentação, indicando que as batatas ficaram mais claras com o prolongamento do processo fermentativo, também evidenciado na Figura 4. A exceção foi o tratamento F4 (120 minutos de fermentação), com redução significativa em L^* em relação ao tratamento F3 (45 minutos de fermentação), coerente com o aumento no teor de açúcares redutores; para a^* e b^* não houve diferenças significativas em relação as batatas submetidas ao tratamento F3. A fermentação já demonstrou aumentar a luminosidade e reduzir o parâmetro a^* e b^* em fatias de batatas fritas (ANESE *et al.*, 2009; LEE *et al.*, 2016). Similarmente Blom *et al.* (2009) demonstram claramente como a fermentação láctica diminui a formação da coloração marrom formada durante a fritura de batatas.

Na correlação (Tabela 15), verificou-se que à medida que o teor de açúcar redutor diminuía, o valor de L^* aumentava proporcionalmente, enquanto de b^* reduzia. Isso demonstrou que os níveis reduzidos de açúcares redutores causaram redução significativa no escurecimento não enzimático durante o cozimento e esterilização das

batatas pronta para o consumo. Resultados semelhantes foram encontrados por Kaaber, Sundt e Slinde (1995), ao estudarem a fermentação láctica em diferentes cultivares de batata para produção de batatas fritas, quando relatam correlação linear (-0,850) e significativa entre a luminosidade e o teor de açúcares redutores nas fatias de batata, sendo que as batatas de cor mais clara apresentam o menor teor de açúcares redutores.

Além da cor, o processo de fermentação exerceu efeito pronunciado sobre o índice de compostos intermediários e o índice de escurecimento das batatas processadas, parâmetros de qualidade relativos à formação de compostos na fase intermediária e final, respectivamente, da reação de Maillard (PARAVISINI; PETERSON, 2018; ZHANG *et al.*, 2015). As batatas submetidas ao branqueamento (F2) denotaram decréscimo significativo na formação de compostos intermediários e de compostos escuros (melanoidinas), efeito intensificado com a associação da fermentação láctica por 45, 180 e 240 minutos. O impacto do processo fermentativo sobre o índice de escurecimento e o índice de compostos intermediários apresentaram correlação linear significativa e positiva (0,902 e 0,877, respectivamente) com o teor de açúcares redutores, levando a entender que o aumento desses implicou na intensificação da reação de Maillard. Isso sugere que a redução no teor açúcar provocado pela fermentação foi um fator chave na limitação da reação de Maillard, suprimindo tanto a formação de compostos intermediários, como de melanoidinas.

Desta forma o processo fermentativo pode ser considerado como uma opção para o processamento de batatas sem o uso de aditivos químicos, tanto para um processamento orgânico quanto para o convencional, promovendo o aumento do bem-estar social e ambiental. No entanto, a implantação de um processo de fermentação na indústria deve ser bastante investigada, considerando todos os requisitos possíveis, pois muitas vezes operações simples de laboratório podem ser impraticáveis, ou pouco econômicas, quando realizadas em grande escala (MALAJOVICH, 2016). Fatores como: estabilidade genética e manutenção da cultura biológica; tanque de fermentação; qualificação profissional, posto que o processo deve ser bem definido, com risco mínimo de falha técnica; requisitos de quantidade e qualidade de produto desejados; desenvolvimento de procedimento operacional padrão e sistema de controle de temperatura e pH são alguns requisitos que devem

ser profundamente avaliados para a ampliação de um processo fermentativo de laboratório para a produção industrial (MEYER; MINAS; SCHMIDHALTER, 2017).

O processo fermentativo em uma planta industrial pode ser realizado pelo método contínuo ou descontínuo (batelada). No método contínuo, não há interrupções entre a retirada do produto e adição de insumos para a fermentação, as quais ocorrem simultaneamente ao longo do processo, com a vantagem de reduzir ao máximo o tempo improdutivo e desvantagem de aumentar o risco de contaminação do produto. Por outro lado, no método descontínuo, após a adição do inóculo e da matéria prima no fermentador, a fermentação ocorre até o tempo estipulado ou esgotamento dos nutrientes e após concluído o processo o produto é retirado, o fermentador é esvaziado, limpo e esterilizado antes de receber outra carga. O método descontínuo possui a vantagem de flexibilizar a produção, uma vez que o mesmo equipamento pode ser utilizado na fabricação de produtos diferentes e a desvantagem de aumentar o tempo improdutivo entre uma batelada e outra (MALAJOVICH, 2016).

4.3.3 Efeito da Fermentação Lática no Perfil de Textura de Batatas Processadas

A Tabela 16 apresenta os resultados encontrados para a análise do perfil de textura em batatas processadas submetidas a fermentação lática para redução do escurecimento não enzimático. Os resultados estão expressos como média \pm desvio padrão. Os parâmetros avaliados foram: dureza 1 (força de pico do primeiro ciclo de compressão), dureza 2 (força de pico do segundo ciclo de compressão), coesão (razão entre a área de força positiva durante a segunda compressão e a área durante a primeira compressão), elasticidade (razão do tempo de duração ou distância da entrada de força durante a segunda compressão em relação a primeira compressão), mastigabilidade (multiplicação entre dureza 1, coesão e elasticidade) e adesividade (área negativa entre o ponto em que a primeira curva atinge um valor de força zero após a primeira compressão e o início da segunda curva (ALVAREZ; CANET; LÓPEZ, 2002; CHIAVARO *et al.*, 2006).

Tabela 16 - Resultado da Análise do Perfil de Textura realizada em batatas processadas submetidas a fermentação láctica para redução do escurecimento não enzimático

Tratamento	Dureza 1 (N)	Dureza 2 (N)	Coesão	Elasticidade	Mastigabilidade (N)	Adesividade (mJ)
F1	25,77±0,32 ^a	0,13±0,02 ^a	0,12±0,03 ^a	0,60±0,04 ^a	1,85±0,20 ^a	1,16±0,01 ^a
F2	13,55±0,17 ^b	0,13±0,02 ^a	0,17±0,02 ^a	0,49±0,03 ^a	1,14±0,21 ^b	0,46±0,05 ^b
F3	13,40±1,69 ^b	0,10±0,01 ^a	0,17±0,04 ^a	0,50±0,04 ^a	1,13±0,13 ^b	0,43±0,04 ^b
F4	12,40±0,52 ^b	0,11±0,01 ^a	0,15±0,02 ^a	0,59±0,02 ^a	1,08±0,17 ^b	0,53±0,02 ^b
F5	12,82±0,18 ^b	0,10±0,01 ^a	0,16±0,02 ^a	0,52±0,06 ^a	1,07±0,14 ^b	0,47±0,01 ^b
F6	12,86±0,39 ^b	0,11±0,01 ^a	0,12±0,01 ^a	0,59±0,03 ^a	0,93±0,15 ^b	0,40±0,02 ^b

F1: Controle 1, batata *in natura*; F2: Controle 2, batata branqueada; F3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; F4: Batata branqueada + 120 minutos de fermentação; F5: Batata branqueada + 180 minutos de fermentação; F6: Batata branqueada + 240 minutos de fermentação. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

As propriedades de textura e a cor são os principais atributos para avaliar a qualidade de batatas cozidas, pois exercem grande influência na aceitabilidade e palatabilidade do produto (BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012; CHIAVARO *et al.* 2006). A textura dos tubérculos de batatas está associada à sua estrutura (parede celular e lamela média) e composição química, portanto, mudanças nesses componentes durante o processamento resultam em alterações na textura (ABU-GHANNAM; CROWLEY, 2006).

Os parâmetros de textura dureza 1 e 2 estão relacionados com a resistência à ruptura e referem-se à força necessária para quebrar a batata com os incisivos durante a mastigação, primeira e segunda mordida, respectivamente (GARCÍA-SEGOVIA; ANDRÉS-BELLO; MARTÍNEZ-MONZÓ, 2008). Verificou-se que o processo de branqueamento reduziu significativamente a força necessária para quebrar a batata durante a primeira mordida (dureza 1) e que a fermentação não influenciou neste parâmetro. É provável que os valores mais altos para a dureza 1 no tratamento 1, em que a batata não passou por nenhum processamento antes do cozimento e esterilização em autoclave, estejam relacionados ao fato da gelatinização do amido e quebra da lamela média da parede celular ocorrer mais lentamente em comparação às batatas branqueadas, dado que, o maior teor de grânulos de amido nas batatas exerce maior pressão de inchamento, resultando em uma textura mais macia (ABU-GHANNAM; CROWLEY, 2006; ALVAREZ; CANET; LÓPEZ, 2002; BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012; GARCÍA-SEGOVIA; ANDRÉS-BELLO; MARTÍNEZ-MONZÓ, 2008; ZHANG *et al.*, 2018a). Para a dureza 2 não houve diferenças entre os tratamentos estudados, estabelecendo que após a primeira

mordida a força necessária para quebrar a batata durante a mastigação é a mesma, independente do tratamento empregado.

A coesão reflete o quanto um alimento pode ser deformado antes da ruptura (CHEN; OPARA, 2013). Sensorialmente, a coesão relaciona-se com o grau de deformação do alimento antes da ruptura ao ser comprimido pelos molares (DI MONACO; CAVELLA; MASI, 2008; SZCZESNIAK, 2002). As batatas processadas prontas para o consumo apresentaram coesividade entre 0,10 e 0,17 (Tabela 16), sem relação significativa entre os processos de branqueamento e fermentação com a variação nesse atributo de textura. Resultados semelhantes são relatados por Zhang *et al.* (2018a), os quais mencionam coesão entre 0,11 e 0,21 em cubos de batatas submetidas a aquecimento por radiofrequência em diferentes temperaturas.

De acordo com Szczesniak (2002), a elasticidade de um alimento pode ser entendida como o grau em os alimentos retornam à sua forma original no intervalo de tempo compreendido entre o final da primeira mordida e o início da segunda. A elasticidade encontrada nas batatas pronta para o consumo permaneceu entre 0,47 e 0,59. Esses resultados são equivalentes aos encontrados por García-Segovia, Andrés-Bello e Martínez-Monzó (2008) para elasticidade (0,39-1,10) de cubos de batatas cozidas a 80 e 90 °C. Tanto o processo de branqueamento quanto a fermentação não influenciaram esse parâmetro. Da mesma forma, Mostafa, Ali e Mahmoud (2019) não encontram grandes variações na deformação recuperável de batata fritas submetidas a fermentação láctica por 30 e 60 minutos.

A mastigabilidade refere-se ao trabalho necessário para mastigar um alimento sólido a fim de reduzi-lo a uma consistência satisfatória para deglutição (SZCZESNIAK, 1963; SZCZESNIAK, 2002). As batatas submetidas ao branqueamento (F2) mostraram uma redução cerca de 38% na mastigabilidade em comparação com as batatas que não passaram por esse procedimento antes do cozimento e esterilização em autoclave (F1). Isso denota que as batatas branqueadas requerem menor energia para deglutição, certamente devido à menor força necessária para ruptura durante a primeira mordida (dureza 1). Não houve diferenças significativas entre as batatas do tratamento F2 e aquelas submetidas ao processo de fermentação (F3, F4, F5 e F6). Similarmente, Zhang *et al.* (2018a) mostram que batatas branqueadas a 85 °C requerem cerca de 31% menos trabalho para mastigar em relação as batatas que não passaram por esse procedimento.

O parâmetro de textura adesividade corresponde ao trabalho empregado para superar a atração entre a batata e os dentes, palato e/ou língua após a mastigação (GARCÍA-SEGOVIA; ANDRÉS-BELLO; MARTÍNEZ-MONZÓ, 2008; SZCZESNIAK, 1963), inferindo o quão aderente é um alimento. Observou-se que as batatas submetidas ao tratamento controle (F1) apresentaram adesividade significativamente maior do que batatas submetidas aos demais tratamentos. Sugere-se que esse resultado esteja associado a proporção de amido gelatinizado, que pode ter sido maior nos demais tratamentos em função do branqueamento. Segundo Jansky (2010), a maior proporção de amido gelatinizado presente na batata proporciona uma textura farinhenta, pois, o amido retém água, criando essa sensação seca na boca, enquanto, as batatas com menor quantidade amido produzem uma textura gomosa, em função da água não retida ser liberada ao mastigar, produzindo uma sensação úmida na boca.

De maneira geral, verificou-se que o processo de fermentação láctica não influenciou significativamente o perfil de textura das batatas processadas e as alterações observadas em comparação ao tratamento controle (F1) foram derivadas do processo de branqueamento.

Os resultados experimentais discutidos mostraram que a partir de 45 minutos, a fermentação láctica tem potencial para reduzir o escurecimento não enzimático em batatas processadas pronta para consumo, sem afetar drasticamente a acidez e as propriedades de textura do produto. Portanto, o tratamento com 45 minutos de fermentação (F3) foi selecionado para compor os testes da última etapa experimental (efeito individual e combinado da imersão química e biológica sobre a qualidade físico-química da batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento) por apresentar melhora significativa nos parâmetros relacionados a reação de Maillard no menor tempo estudado, sem apresentar grande variação em relação ao tempo de imersão dos tratamentos com aditivos químicos (30 minutos). Além disso, a obtenção de um resultado positivo no menor tempo possível reduz a ineficiência do processo e os custos de produção, fatores fundamentais para o faturamento da indústria, dado que o preço do produto é praticamente definido pelo mercado, e a empresa deve viabilizar seu lucro por meio de um custo produtivo menor (BORNIA, 2008).

4.4 EFEITO INDIVIDUAL E COMBINADO DA IMERSÃO QUÍMICA E BIOLÓGICA SOBRE A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E INTENSIDADE DA REAÇÃO DE MAILLARD EM BATATA PROCESSADA PRONTA PARA O CONSUMO DURANTE O ARMAZENAMENTO

4.4.1 Efeito da Imersão Química e Biológica no Teor de Sólidos Solúveis Totais, Açúcares Redutores Totais, pH e A_w em Batatas Antes do Processamento Térmico

A Tabela 17 apresenta os resultados para sólidos solúveis totais, açúcares redutores totais, pH e a_w em batatas processadas após o tratamento químico e/ou biológico, antes do cozimento e esterilização em autoclave, para verificar a efetividade da fermentação láctica.

Tabela 17 - Resultados obtidos para sólidos solúveis totais, açúcares redutores totais, pH e a_w em batatas submetidas a imersão química e/ou biológica para redução do escurecimento não enzimático

Tratamento	Sólidos Solúveis Totais (° Brix)	Açúcares Redutores Totais (gL ⁻¹)	pH	A_w
T1	4,67±0,58 ^c	32,33±0,28 ^a	7,09±0,03 ^a	0,9904±0,0001 ^a
T2	15,33±0,57 ^a	28,60±0,25 ^b	7,08±0,02 ^a	0,9902±0,0002 ^a
T3	11,33±0,58 ^b	25,98±0,38 ^c	6,84±0,12 ^b	0,9869±0,0005 ^b
T4	11,67±0,57 ^b	25,95±0,06 ^c	5,15±0,02 ^d	0,9869±0,0001 ^b
T5	16,33±0,57 ^a	28,76±0,31 ^b	5,17±0,01 ^d	0,9865±0,0002 ^b
T6	11,33±0,58 ^b	25,99±0,09 ^c	5,15±0,04 ^d	0,9866±0,0001 ^b
T7	16,33±0,58 ^a	28,75±0,26 ^b	5,16±0,02 ^d	0,9867±0,0004 ^b
T8	12,33±0,58 ^b	25,90±0,17 ^c	5,16±0,03 ^d	0,9868±0,0006 ^b
T9	15,67±0,57 ^a	28,61±0,21 ^b	6,40±0,01 ^c	0,9882±0,0004 ^b

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Analisando conjuntamente o teor de sólidos solúveis totais e açúcares redutores totais observou-se que a fermentação láctica realizada nos tratamentos T3, T4, T6 e T8 foi efetiva para reduzir esses parâmetros. Os tratamentos químicos (T5, T7, T9) diferiram estatisticamente somente do tratamento controle T1, indicando que a redução do teor açúcares redutores totais esteve associado ao processo de branqueamento, considerando a similaridade com o tratamento T2.

Nas condições experimentais estudadas, a fermentação isoladamente (T3) e o MBS (T9) causaram significativa diminuição do pH em relação às batatas *in natura* (T1) e às branqueadas (T2). Nos tratamentos T4 a T8 a redução do pH foi acentuada pelo uso do ácido cítrico, visando atingir pH próximos de 5, valor otimizado na primeira parte experimental (4.1). A redução do pH por fermentação deve-se a incorporação de ácido láctico, composto gerado pelo *Lactobacillus acidophilus* durante o consumo dos carboidratos presente nas batatas (MOSTAFA; ALI; MAHMOUD; 2019). Em contrapartida, a redução do pH desencadeada pelo MBS é consequência da formação do H_2SO_3 em solução aquosa, este ioniza-se em HSO_3^- e SO_3^{2-} , a protonação destes compostos (HSO_3^- e SO_3^{2-}) e à geração de SO_2 molecular pode originar uma mudança de pH no tecido vegetal da batata (DUANGMAL; APENTEN, 1999; KILIC-AKYILMAZ; GULSUNOGLU, 2015; YAGANZA; TWEDDELL; ARUL, 2014).

A redução da atividade água nos tratamentos T3 a T9 provavelmente esteve associada à incorporação de ácido láctico, ácido cítrico, MBS, cisteína e/ou glicina betaína, dependendo do tratamento empregado. Esse processo, além de adicionar compostos anti-escurecimento para melhorar a qualidade final da batata processada, ajudou a reduzir a a_w , um dos fatores de conservação que contribui para obtenção de um produto de umidade alta ou intermediária com boa qualidade sensorial e microbiológica (CEROLI *et al.*, 2018). Similarmente, Reis, Massone Waszczyński (2008) relatam redução na a_w em batatas palito submetidas a tratamentos com branqueamento e ácido ascórbico.

Em síntese, esses resultados avaliados antes do processamento térmico da batata, mostraram que o tratamento biológico empregado cumpriu a função de reduzir o teor de açúcares redutores, visando uma redução na intensidade da reação de maillard, bem como, a redução do pH e a_w sugere que houve a incorporação dos compostos químicos no tecido da batata. Dessa forma, os demais parâmetros de qualidade mensurados após do cozimento e esterilização em autoclave têm a função de verificar o efeito o tratamento químico e/ou biológico na composição físico-química e particularmente na limitação dos efeitos indesejáveis da reação de Maillard no produto acabado.

4.4.2 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica na Qualidade Físico-Química Da Batata Processada Pronta para o Consumo Durante o Armazenamento

Embora todos os tratamentos tecnológicos estudados tivessem a finalidade principal de reduzir significativamente a formação de compostos escuros oriundos da reação de Maillard na batata processada, seus efeitos na qualidade físico-química dos produtos acabados também foram avaliados durante o armazenamento. A Tabela 18 apresenta os resultados para umidade e cinzas considerando o primeiro e último dia de armazenamento.

Tabela 18 - Resultados obtidos para umidade e cinzas em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamento	Umidade (%) (1 dia de armazenamento)	Umidade (%) (60 dias de armazenamento)	Cinzas (%) (1 dia de armazenamento)	Cinzas (%) (60 dias de armazenamento)
T1	81,91±1,69 ^{cA}	82,82±0,31 ^{abA}	1,95±0,08 ^{aA}	1,83±0,10 ^{aA}
T2	81,78±0,10 ^{cA}	80,06±0,49 ^{dB}	1,96±0,04 ^{aA}	2,02±0,40 ^{aA}
T3	85,97±0,78 ^{aA}	80,15±0,51 ^{dB}	1,96±0,05 ^{aA}	1,99±0,02 ^{aA}
T4	85,43±1,14 ^{aA}	82,86±0,37 ^{abB}	1,93±0,09 ^{aA}	1,90±0,09 ^{aA}
T5	83,12±0,37 ^{bcA}	79,90±0,23 ^{dB}	1,94±0,01 ^{aA}	1,98±0,08 ^{aA}
T6	86,05±0,32 ^{aA}	83,89±0,27 ^{aB}	1,95±0,02 ^{aA}	1,95±0,19 ^{aA}
T7	82,71±0,35 ^{cA}	80,50±0,45 ^{dB}	1,96±0,01 ^{aA}	1,98±0,19 ^{aA}
T8	86,19±0,35 ^{aA}	81,62±0,29 ^{cB}	1,96±0,10 ^{aA}	1,99±0,04 ^{aA}
T9	85,22±0,26 ^{abA}	82,13±0,37 ^{bcB}	1,95±0,06 ^{aA}	1,94±0,13 ^{aA}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se neste estudo, ao contrário do mencionado por Maté *et al.* (1998), que tanto a gelatinização do amido quanto as mudanças estruturais da parede celular da batata provocada pelo branqueamento parecem não ter afetado a mobilidade da água durante o cozimento e esterilização em autoclave, pois não houve diferenças estatísticas para o teor de umidade entre os tratamentos controles (T1 e T2) logo após o processamento. Além disso, notou-se que o tempo de imersão dos tratamentos afetou a umidade das batatas cozidas pronta para o consumo, uma vez que, os tratamentos que permaneceram em imersão por 45 minutos, em função da associação com o processo de fermentação (T3, T4, T6 e T8) apresentaram os maiores teores de umidade. Entretanto, após 60 dias de armazenamento notou-se que essa característica não permaneceu constante, sendo que as batatas submetidas à fermentação apresentaram teor de umidade similar ou inferior estatisticamente

comparadas aos tratamentos com tempo de imersão de 30 minutos. Adicionalmente, constatou-se que todos os tratamentos reduziram significativamente o teor de umidade, exceto o tratamento controle (T1) que permaneceu estável. Tais mudanças observadas ao final do período de armazenamento podem estar associadas ao aumento da permeabilidade do tecido causada pelo pré-tratamento térmico, resultando na maior perda de umidade da batata processada (ANESE *et al.*, 2009; BELGIN ERDOĞDU *et al.*, 2007).

A composição mineral (cinzas) das batatas processadas prontas para o consumo apresentou-se entre 1,93-1,96% após o processamento e entre 1,83-2,02% após 60 dias de armazenamento, sem diferenças significativas entre os diferentes tratamentos e nem para o mesmo tratamento durante o armazenamento. Rodrigues (2020) ao estudar o resíduo do processamento de batatas pronta para o consumo (cascas e camadas externas da polpa) encontra 1,56% de cinzas. Jaggan, Mu e Sun (2020) ao avaliarem o efeito de cultivares de batata nas propriedades, nutricionais de batatas fritas descrevem teores de cinzas entre 1,86 e 2,76%. Geralmente, o conteúdo mineral pode variar amplamente entre cultivares, dependendo da genética e do ambiente em que a batata foi cultivada, incluindo a disponibilidade de minerais no solo, bem como, as práticas agrônômicas empregadas (FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018).

A Tabela 19 apresenta os resultados para lipídios e proteínas considerando o primeiro e último dia de armazenamento.

A batata é considerada um alimento com baixo teor de gordura, geralmente variam de 0,1 a 0,5% e consistem principalmente de fosfolipídios (47%), glicolipídios e galactolipídios (22%), elementos estruturais de membranas biológicas, bem como lipídios neutros (21%), como acilglicerois e ácidos graxos livres (BURGOS *et al.*, 2020). As batatas do estudo atual corresponderam à afirmação acima mencionada, apresentando entre 0,22-0,26% de lipídeos. É importante ressaltar que tanto os tratamentos químicos e/ou biológicos empregados quanto o tempo de armazenamento não influenciaram a composição lipídica das batatas processadas prontas para o consumo. Esses resultados estão próximos aos encontrados por Leivas *et al.* (2013), os quais relatam 0,31% de lipídios em farinha de batata cv. Ágata.

Tabela 19 - Resultados obtidos para lipídios e proteínas em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamento	Lipídios (%) (1 dia de armazenamento)	Lipídios (%) (60 dias de armazenamento)	Proteínas (%) (1 dia de armazenamento)	Proteínas (%) (60 dias de armazenamento)
T1	0,24±0,01 ^{aA}	0,25±0,01 ^{aA}	2,90±0,14 ^{aA}	1,97±0,09 ^{bB}
T2	0,23±0,02 ^{aA}	0,25±0,03 ^{aA}	2,87±0,16 ^{aA}	2,02±0,12 ^{bB}
T3	0,26±0,04 ^{aA}	0,24±0,02 ^{aA}	3,03±0,08 ^{aA}	1,96±0,12 ^{bB}
T4	0,23±0,02 ^{aA}	0,24±0,01 ^{aA}	3,05±0,03 ^{aA}	2,40±0,13 ^{abB}
T5	0,24±0,03 ^{aA}	0,23±0,03 ^{aA}	3,01±0,05 ^{aA}	2,84±0,08 ^{aB}
T6	0,22±0,02 ^{aA}	0,23±0,02 ^{aA}	3,12±0,25 ^{aA}	2,75±0,29 ^{aA}
T7	0,24±0,01 ^{aA}	0,22±0,03 ^{aA}	3,16±0,28 ^{aA}	2,80±0,25 ^{aA}
T8	0,23±0,03 ^{aA}	0,23±0,01 ^{aA}	3,12±0,07 ^{aA}	2,78±0,24 ^{aA}
T9	0,25±0,03 ^{aA}	0,23±0,01 ^{aA}	2,57±0,03 ^{bA}	2,17±0,05 ^{bB}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

A proteína é um dos principais constituintes da batata juntamente com os carboidratos. Seu conteúdo geralmente depende da variedade e maturidade da batata, podendo variar entre 2,7 e 14,6% da matéria seca (BÁRTOVÁ *et al.*, 2013; FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018). Após o processamento térmico, o teor de proteínas da batata processada variou entre 2,57-3,12%. Similarmente, Ngobese *et al.* (2017) mencionam teor de proteínas entre 1,57-2,87% em oito cultivares de batatas europeias cultivadas na África do Sul. Notou-se que a menor quantidade de proteínas (2,57%) correspondeu ao tratamento padrão com MBS (T9), fato que pode estar associado a capacidade do MBS de reagir com proteínas e aminoácidos, diminuindo a disponibilidade desse macronutriente (KOLAEI; TWEDDELL; AVIS, 2012; LEDL; SCHLEICHER, 1990; TAYLOR; HIGLEY; BUSH, 1986).

Após o armazenamento houve redução no teor de proteínas das batatas processadas, exceto nos tratamentos T6, T7 e T8. É provável que essa redução esteja relacionada ao desenvolvimento da reação de Maillard, a qual continua progredindo durante o armazenamento e demandando de grupamentos α ou ϵ -NH₂ de aminoácidos peptídeo ou proteína, levando a destruição ou diminuição da digestibilidade desses constituintes (FRIEDMAN, 1996; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; PEREZ-LOCAS; YAYLAYAN, 2010). Nesse contexto, a redução no teor de proteínas após o armazenamento em tubérculos de variedades de batata

preparadas por vários métodos de cozimento também é mostrada no estudo de Murniece *et al.* (2011).

A Tabela 20 apresenta os resultados para fibras insolúveis e solúveis nas batatas processadas considerando o primeiro e último dia de armazenamento.

Tabela 20 - Resultados obtidos para fibras insolúveis e solúveis em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamento	Fibras	Fibras	Fibras Solúveis	Fibras Solúveis
	Insolúveis (%) (1 dia de armazenamento)	Insolúveis (%) (60 dias de armazenamento)	(%) (1 dia de armazenamento)	(%) (60 dias de armazenamento)
T1	6,47±0,55 ^{abB}	8,47±0,79 ^{aA}	0,46±0,01 ^{aA}	0,48±0,07 ^{aA}
T2	6,59±0,54 ^{aB}	7,45±0,51 ^{abA}	0,47±0,04 ^{aA}	0,46±0,03 ^{aA}
T3	5,58±0,20 ^{cB}	7,09±0,63 ^{bcA}	0,46±0,04 ^{aA}	0,48±0,02 ^{aA}
T4	5,49±0,19 ^{cB}	5,94±0,18 ^{cdA}	0,47±0,05 ^{aA}	0,47±0,03 ^{aA}
T5	6,03±0,05 ^{abcA}	5,96±0,24 ^{cdA}	0,46±0,06 ^{aA}	0,47±0,06 ^{aA}
T6	5,56±0,20 ^{cA}	5,88±0,20 ^{dA}	0,46±0,02 ^{aA}	0,46±0,04 ^{aA}
T7	5,93±0,26 ^{abcA}	6,06±0,08 ^{cdA}	0,46±0,02 ^{aA}	0,45±0,04 ^{aA}
T8	5,40±0,48 ^{cA}	5,69±0,35 ^{dA}	0,46±0,06 ^{aA}	0,48±0,03 ^{aA}
T9	5,79±0,16 ^{bcA}	6,55±0,45 ^{bcdA}	0,47±0,07 ^{aA}	0,46±0,05 ^{aA}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

O conteúdo de fibra alimentar total (insolúveis + solúveis) nas batatas processadas estudadas variou de 5,86 a 7,06% logo após o cozimento e esterilização em autoclave e de 6,17 a 8,95 após 60 dias de armazenamento. Resultados aproximados são encontrados por Jaggan, Mu e Sun (2020), os quais exprimem valores de fibra alimentar entre 5,05-8,14% em dez cultivares de batata da China.

Observou-se que o teor de fibras insolúveis dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 aumentaram significativamente durante o armazenamento. A reação de escurecimento não enzimática resulta na formação de polímeros marrons, denominados coletivamente de melanoidinas, compostos predominantemente de elevada massa molar com propriedades insolúveis (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; HODGE, 1953; NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019). Assim, o progresso da reação de Maillard durante o armazenamento provavelmente aumentou a formação de melanoidinas, indiretamente quantificadas como fibras insolúveis. Da mesma

forma, isso explicaria o fato de que para ambos os períodos analisados as batatas dos tratamentos controles (T1 e T2), mais susceptíveis ao escurecimento não enzimático pela ausência de agentes anti-escurecimento, apresentaram os maiores teores de fibras insolúveis. Por outro lado, as fibras solúveis não apresentaram alterações significativas durante o armazenamento, bem como não sofreram interferência dos tratamentos empregados.

Ao que tudo indica, não houve redução no conteúdo de fibras solúveis e insolúveis presente nas batatas processadas em função dos compostos químicos e/ou biológicos utilizados. Assim manteve-se o aporte desse nutriente, quesito relevante, uma vez que as batatas podem ser uma fonte significativa de fibras para indivíduos que as comem regularmente, embora não possam ser consideradas um alimento rico em fibras (BURGOS *et al.*, 2020).

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados obtidos para açúcares redutores totais e compostos fenólicos em batatas processadas, considerando o período inicial e final de armazenamento.

Tabela 21 - Resultados obtidos para açúcares redutores totais e compostos fenólicos em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamento	Açúcares Redutores Totais (gL ⁻¹) (1 dia de armazenamento)	Açúcares Redutores Totais (gL ⁻¹) (60 dias de armazenamento)	Compostos Fenólicos (mgGALg ⁻¹) (1 dia de armazenamento)	Compostos Fenólicos (GALg ⁻¹) (60 dias de armazenamento)
T1	28,19±0,18 ^{bcA}	26,09±0,24 ^{bB}	1,33±0,05 ^{BA}	0,70±0,07 ^{bB}
T2	25,07±0,41 ^{dA}	24,26±0,12 ^{bB}	1,28±0,03 ^{BA}	0,75±0,06 ^{bB}
T3	24,71±0,03 ^{dA}	24,05±0,37 ^{bB}	1,24±0,04 ^{BA}	0,75±0,04 ^{bB}
T4	27,58±0,13 ^{cA}	25,95±0,90 ^{bB}	1,27±0,03 ^{BA}	0,94±0,04 ^{AB}
T5	30,26±0,19 ^{abB}	31,97±0,13 ^{AA}	1,28±0,02 ^{BA}	0,96±0,03 ^{AB}
T6	31,17±0,20 ^{AA}	32,05±1,09 ^{AA}	1,27±0,06 ^{BA}	0,95±0,03 ^{AB}
T7	30,27±0,18 ^{abB}	31,93±0,83 ^{AA}	1,25±0,04 ^{BA}	0,97±0,06 ^{AB}
T8	31,90±0,80 ^{AA}	32,31±1,60 ^{AA}	1,26±0,04 ^{BA}	0,99±0,03 ^{AB}
T9	26,82±2,01 ^{cdA}	25,37±1,11 ^{bA}	1,07±0,02 ^{bA}	0,94±0,07 ^{AB}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância (p<0,05). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância (p<0,05).

Fonte: autoria própria (2022)

Considerando o teor de açúcares redutores antes (Tabela 17) e logo depois do processamento térmico verificou-se redução significativa nos valores obtidos para

os tratamentos controles (T1 e T2) e no tratamento somente com fermentação (T3). Após o armazenamento, também se observou decréscimo no teor de açúcares redutores do tratamento T4. A atenuação no teor de açúcares redutores na batata processada presumivelmente ocorreu devido à condensação da glicose e frutose com aminoácidos para desencadear a reação de Maillard (FRIEDMAN, 1996; ZHANG *et al.*, 2015).

Considerando as amostras de batatas submetidas aos tratamentos contendo combinações de ácido cítrico com cisteína e/ou glicina betaína e/ou fermentação (T4, T5, T6, T7 e T8) constatou-se acréscimo na concentração de açúcares redutores comparando antes (Tabela 17) e logo depois do processamento térmico. Observou-se que, nos tratamentos T5 e T7, o teor de açúcares redutores continuou aumentando até o final do armazenamento. Aparentemente, nas amostras que apresentaram dificuldade para iniciar a reação de Maillard, em razão da menor disponibilidade de grupos amino pelo decréscimo do pH (HEMMLER *et al.*, 2018), bem como de açúcares redutores, consumidos na fermentação e da capacidade redutora da cisteína (ZENG *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2018b) e osmoprotetora da glicina betaína (OSMAN, 2015; SUN *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2016), houve menor consumo de açúcares redutores e paralelamente hidrólise da sacarose durante o processamento térmico (MURNIECE *et al.*, 2011), elevando a concentração desses açúcares na batata processada. Esse mesmo fundamento, também justifica o fato de que tanto com um dia, como após 60 dias de armazenamento, as batatas dos tratamentos contendo cisteína e/ou glicina betaína e/ou fermentação (T5, T6, T7 e T8) apresentaram os maiores teores de açúcares redutores.

Os fenólicos pertencem a uma ampla classe de compostos vegetais estruturalmente definidos como contendo um (ácidos fenólicos) ou mais grupos funcionais fenólicos (polifenóis) (FURRER; CHEGENI; FERRUZZI, 2018). Nas batatas os compostos mais abundantes são os ácidos clorogênicos e seus isômeros, ácido neoclogênico e criptoclorogênico (BURGOS *et al.*, 2020; HAMOUZ *et al.*, 2013). Esses componentes possuem potentes propriedades antioxidantes, ajudam a constituir mecanismos de defesa as plantas contra doenças e protegem as células da oxidação excessiva e dos danos dos radicais livres (FRIEDMAN, 1997; RICIPUTI *et al.*, 2018).

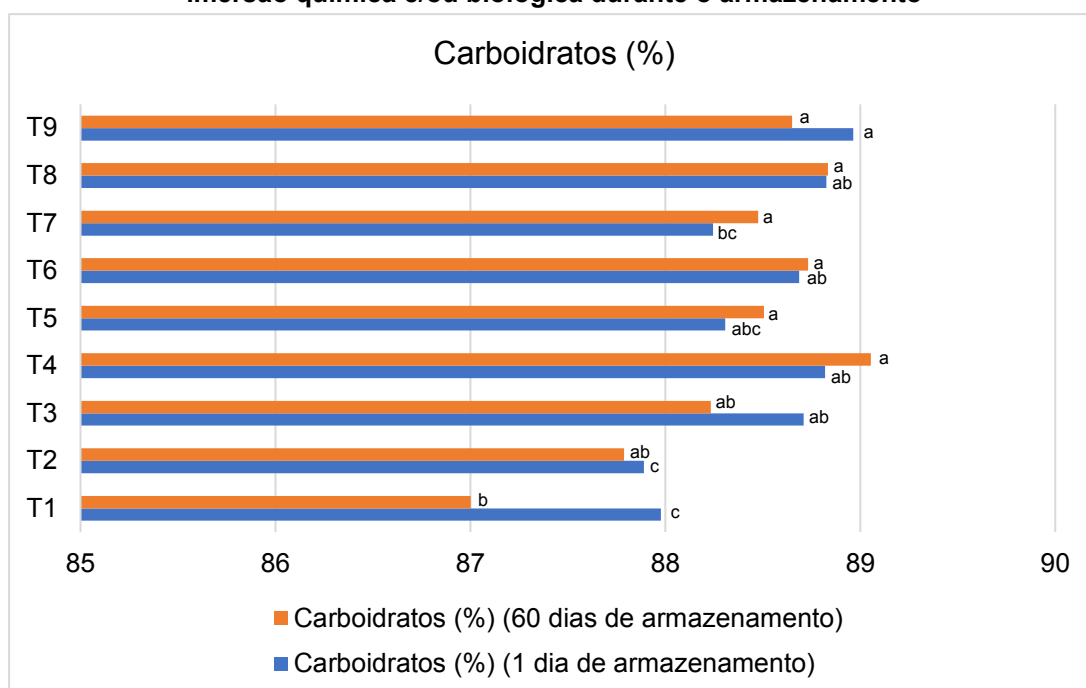
O teor de compostos fenólicos das batatas apresentou-se entre 1,07-1,33 mg GAL g⁻¹ depois do cozimento e esterilização em autoclave. Jaggan, Mu e Sun (2020) encontram concentrações de compostos fenólicos totais entre 1,02-1,47 mg g⁻¹ em

onze cultivares de batatas, os quais diminuem após a fritura variando de 0,70 a 1,02 mg g⁻¹. Rodrigues (2020) relata 1,54 mg g⁻¹ de compostos fenólicos em resíduo de batata processada. Observou-se que as batatas submetidas ao tratamento padrão com MBS (T9) obtiveram concentrações de compostos fenólicos significativamente menor do que as dos demais tratamentos. Supostamente o MBS pode ligar-se aos compostos fenólicos, formando complexos sulfofenólicos, os quais tendem a estabilizar os compostos fenólicos durante o armazenamento (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; TAYLOR; HIGLEY; BUSH, 1986). Diante disso, notou-se que, após o armazenamento, o tratamento padrão com MBS (T9) manteve-se com quantidades de compostos fenólicos superior ou igual aos demais tratamentos.

Adicionalmente, ao fim do tempo armazenamento constatou-se que as batatas processadas submetidas a todos os tratamentos apresentaram decréscimo no teor de compostos fenólicos, principalmente aquelas expostas aos tratamentos T1 (batata *in natura*), T2 (batata branqueada) e T3 (45 minutos de fermentação). Dessa forma, além do tratamento com MBS (T9), os tratamentos contendo ácido cítrico e cisteína e/ou glicina betaína (T4 a T8) também mantiveram a quantidade de compostos fenólicos significativamente superior aos tratamentos controle (T1 e T2). Da mesma forma, o efeito positivo da cisteína e da glicina betaína sobre os compostos fenólicos são apontados por Preczenhak *et al.* (2019) e Al-Qurashi *et al.* (2017), respectivamente.

O teor de carboidratos digerível nas batatas processadas (Gráfico 20) variou de 87% a 89%, sem alterações durante o armazenamento. As diferenças significativas percebidas entre os tratamentos relacionaram-se às alterações no teor de proteínas e fibras, uma vez que esse parâmetro foi calculado por diferença. Leivas *et al.* (2013), ao analisar as propriedades estruturais e físico-químicas da farinha de batata cv. Ágata encontra aproximadamente 83% de carboidratos digerível.

Gráfico 20 - Resultados obtidos para carboidratos em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento



T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Os parâmetros físico-químicos sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável também foram mensurados nas batatas processadas prontas para o consumo, porém, em intervalo de tempo quinzenal durante os 60 dias de armazenamento. A Tabela 22 apresenta os resultados para o teor de sólidos solúveis totais.

Tabela 22 - Resultados obtidos para sólidos solúveis totais (°Brix) em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
	Sólidos solúveis totais (°Brix)				
T1	14,67±0,58 ^{AA}	14,33±0,59 ^{AA}	14,50±0,50 ^{AA}	13,33±0,58 ^{AA}	9,00±1,00 ^{dB}
T2	14,40±0,52 ^{AA}	15,33±1,15 ^{AA}	14,67±0,58 ^{AA}	14,00±1,00 ^{AA}	9,33±1,53 ^{cdB}
T3	14,33±1,15 ^{AA}	14,00±2,00 ^{AB}	13,33±1,52 ^{AB}	13,67±0,60 ^{AB}	10,67±0,58 ^{bcdB}
T4	13,67±0,58 ^{AA}	12,50±0,50 ^{AA}	12,67±0,58 ^{AA}	13,68±0,58 ^{AA}	14,00±1,00 ^{AA}
T5	14,67±0,60 ^{AA}	15,00±2,62 ^{AA}	15,00±1,00 ^{AA}	13,68±0,58 ^{AA}	13,67±1,50 ^{AA}
T6	14,00±1,00 ^{AA}	13,83±2,25 ^{AA}	13,00±1,00 ^{AA}	13,00±1,00 ^{AA}	13,33±0,58 ^{abA}
T7	15,50±0,50 ^{AA}	15,33±1,16 ^{AA}	14,67±0,60 ^{AA}	14,33±0,58 ^{AA}	14,00±1,00 ^{AA}
T8	14,50±0,50 ^{AA}	13,67±1,60 ^{AA}	13,33±1,25 ^{AA}	14,00±2,00 ^{AA}	14,33±0,58 ^{AA}
T9	15,33±0,57 ^{AA}	15,67±0,58 ^{AA}	15,00±1,00 ^{AA}	11,33±0,58 ^{AB}	12,00±1,00 ^{abcB}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p<0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p<0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se que no 1º, 15º, 30º e 45º dia de armazenamento não houve diferença estatística no teor de sólidos solúveis totais entre os tratamentos para o mesmo período a nível de 5% de significância ($p<0,05$). No entanto, no 60º dia de armazenamento as batatas processadas submetidas aos tratamentos controles (T1 e T2) e ao tratamento somente com fermentação (T3) apresentaram os menores teores de sólidos solúveis totais, reduzidos significativamente ao final do armazenamento. Esses dados estão de acordo com os resultados obtidos para açúcares redutores (Tabela 21), parâmetro que interfere diretamente na concentração de partículas sólidas presentes em uma amostra (RADY *et al.*, 2014). Desta forma, o decréscimo de sólidos solúveis nas batatas processadas pode estar relacionado a perda de açúcares redutores durante o desenvolvimento da Reação de Maillard.

A Tabela 23 apresenta os resultados de pH encontrados nas batatas processadas e seu comportamento durante o armazenamento de acordo com os diferentes tratamentos.

Tabela 23 - Resultados obtidos para pH em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
	pH				
T1	7,08±0,02 ^{AA}	7,10±0,04 ^{AA}	7,11±0,03 ^{AA}	6,74±0,01 ^{BB}	6,30±0,08 ^{BC}
T2	7,04±0,05 ^{AA}	6,98±0,05 ^{AB}	6,86±0,03 ^{AB}	6,88±0,01 ^{AB}	6,51±0,13 ^{AC}
T3	6,80±0,10 ^{BA}	6,80±0,02 ^{BA}	6,78±0,02 ^{BA}	6,83±0,03 ^{abA}	6,53±0,02 ^{AB}
T4	5,31±0,04 ^{DA}	5,37±0,03 ^{DA}	5,32±0,02 ^{DA}	5,36±0,02 ^{DA}	5,38±0,03 ^{CA}
T5	5,30±0,05 ^{DA}	5,39±0,05 ^{DA}	5,38±0,02 ^{DA}	5,37±0,03 ^{DA}	5,37±0,03 ^{CA}
T6	5,34±0,05 ^{DA}	5,36±0,04 ^{DA}	5,36±0,03 ^{DA}	5,36±0,01 ^{DA}	5,33±0,04 ^{CA}
T7	5,36±0,02 ^{DA}	5,35±0,03 ^{DA}	5,37±0,02 ^{DA}	5,35±0,04 ^{DA}	5,38±0,02 ^{CA}
T8	5,36±0,03 ^{DA}	5,38±0,01 ^{DA}	5,40±0,05 ^{DA}	5,38±0,02 ^{DA}	5,35±0,02 ^{CA}
T9	6,45±0,08 ^{CA}	6,37±0,12 ^{CA}	6,35±0,15 ^{CA}	6,32±0,10 ^{CA}	6,39±0,03 ^{abA}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

O pH das amostras controle (T1 e T2) apresentou-se entre 6,30 e 7,11, significativamente superior aos demais tratamentos, exceto no 60° dia de armazenamento. Esses resultados estão conforme o esperado, pois, o ácido cítrico foi adicionado intencionalmente aos tratamentos a fim de atingir pH próximos de 5, valor otimizado na primeira parte experimental (4.1). Adicionalmente, a fermentação láctica (MOSTAFA; ALI; MAHMOUD, 2019), a cisteína (ZHANG *et al.*, 2018b) e o MBS (DUANGMAL; APENTEN, 1999; KILIC-AKYILMAZ; GULSUNOGLU, 2015; YAGANZA; TWEDDELL; ARUL, 2014) também contribuem para redução do pH. Similarmente, Nascimento e Canteri (2020) demonstram decréscimo no pH de batatas processadas tratadas com ácido ascórbico e MBS.

Observou-se que ao final do armazenamento houve redução do pH das batatas submetidas aos tratamentos T1, T2 e T3, enquanto os demais permaneceram estáveis. O ligeiro decréscimo no pH das batatas processadas pode ser atribuído à formação de compostos ácidos por meio da degradação de açúcar, aminoácidos livres e peptídeos durante o desenvolvimento dos produtos de Maillard (ZHANG *et al.*, 2018b). Por outro lado, a queda acentuada do pH durante o armazenamento pode indicar falhas no processamento, tais como esterilização ineficiente, falha no processo de selagem industrial da embalagem a vácuo ou ainda danos na embalagem

permitindo a entrada de oxigênio, desencadeando processos biológicos que levam à redução do pH (NASCIMENTO, 2017).

Na Tabela 24 são demonstrados os resultados encontrados para acidez total titulável nas batatas processada submetidas a imersão química e/ou biológica e sua variação ao longo do armazenamento por 60 dias.

Tabela 24 - Resultados obtidos para acidez total titulável em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
	Acidez total titulável (% ácido cítrico m/m)				
T1	0,383 ^c 0,045 ^{bA}	0,360±0,064 ^{bA}	0,330±0,031 ^{bA}	0,344±0,068 ^{bA}	0,266±0,028 ^{bA}
T2	0,372±0,015 ^{bA}	0,329±0,060 ^{bA}	0,324±0,024 ^{bA}	0,322±0,047 ^{bA}	0,282±0,025 ^{bA}
T3	0,396±0,023 ^{bA}	0,336±0,039 ^{bAB}	0,307±0,029 ^{bAB}	0,325±0,044 ^{bAB}	0,271±0,039 ^{bB}
T4	0,591±0,032 ^{aA}	0,587±0,031 ^{aA}	0,587±0,032 ^{aA}	0,571±0,030 ^{aA}	0,550±0,035 ^{aA}
T5	0,595±0,015 ^{aA}	0,593±0,029 ^{aA}	0,572±0,020 ^{aA}	0,556±0,035 ^{aA}	0,582±0,031 ^{aA}
T6	0,594±0,037 ^{aA}	0,595±0,032 ^{aA}	0,596±0,029 ^{aA}	0,585±0,028 ^{aA}	0,583±0,031 ^{aA}
T7	0,586±0,019 ^{aA}	0,592±0,032 ^{aA}	0,591±0,018 ^{aA}	0,589±0,017 ^{aA}	0,601±0,038 ^{aA}
T8	0,601±0,017 ^{aA}	0,597±0,035 ^{aA}	0,590±0,034 ^{aA}	0,599±0,033 ^{aA}	0,600±0,045 ^{aA}
T9	0,388±0,012 ^{bA}	0,399±0,021 ^{bA}	0,341±0,035 ^{bA}	0,334±0,041 ^{bA}	0,342±0,045 ^{bA}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

As batatas processadas do tratamento somente com fermentação (T3) e do tratamento padrão com MBS (T9) não diferiram estatisticamente dos tratamentos controles (T1 e T2) durante todo o armazenamento, variando de 0,372 a 0,399% de ácido cítrico no 1º dia de armazenamento e de 0,271 a 0,342% de ácido cítrico no último dia de armazenamento. Portanto, apesar da fermentação do ácido láctico e o MBS influenciarem no pH do produto não impactaram na acidez total. Segundo Tyl e Sadler (2017), a acidez titulável, a qual mede a concentração total de ácido em um alimento, é melhor preditor do que o pH em relação ao efeito dos ácidos orgânicos no sabor do produto.

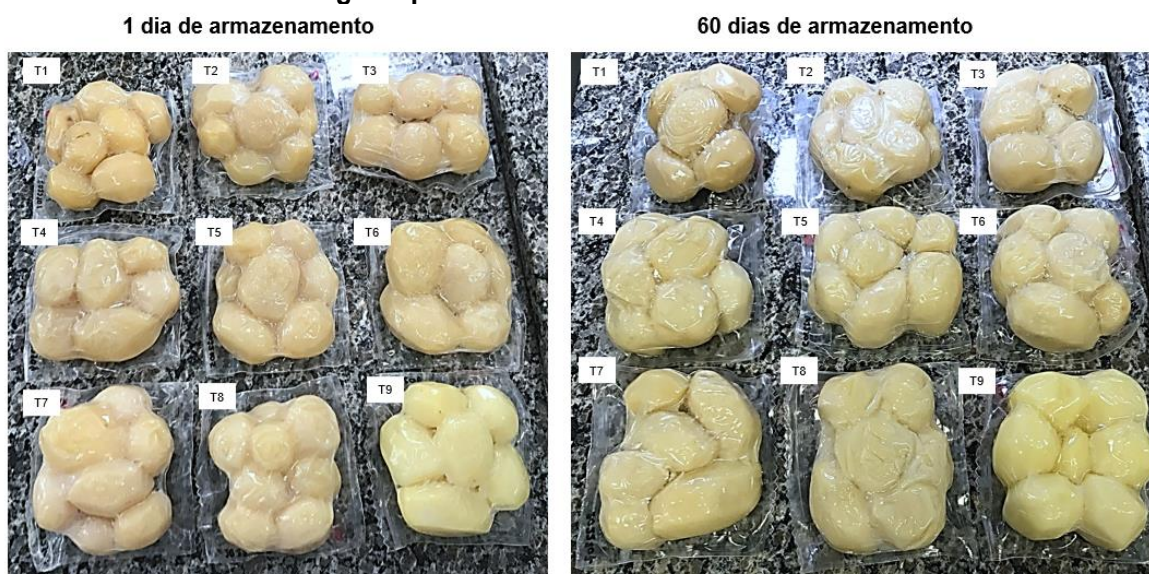
As batatas submetidas aos tratamentos contendo ácido cítrico (T4 a T8) mostraram acidez total significativamente similar entre si e superior aos demais tratamentos (T1, T2, T3 e T9) para todos os períodos analisados. É importante

ressaltar que, diferentemente do pH, todos os tratamentos tiveram a acidez total estável durante o armazenamento, quesito desejável do ponto de vista sensorial, não havendo acidificação do produto decorrente da reação de Maillard e/ou do tempo de armazenamento. Da mesma forma, Nascimento *et al.* (2020) ao estudar o uso do MBS e ácido ascórbico para controlar o escurecimento em batatas processados prontas para comer durante o armazenamento prolongado relatam estabilidade na acidez total titulável ao longo de 8 meses.

4.4.3 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica na Intensidade da Reação de Maillard em Batata Processada Pronta Para o Consumo Durante o Armazenamento

O efeito dos tratamentos químicos e/ou biológicos na redução do escurecimento provocado pela reação de Maillard nas batatas processadas pronta para o consumo foi mensurado pelos parâmetros de cor (L^* a^* b^*), índice de escurecimento e índice de compostos intermediários, determinados no primeiro dia de armazenamento e repetidos em 15, 30, 45 e 60 dias de armazenamento. Na Tabela 25 observa-se os resultados encontrados para cor (L^* a^* b^*) nas batatas processadas durante o armazenamento. A Figura 6 mostra as batatas processadas embaladas a vácuo no primeiro e último dia de armazenamento.

Figura 11 - Batatas processadas embaladas a vácuo tratadas por imersão química e/ou biológica após 1 dia e 60 dias de armazenamento



T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação;

T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio
 Fonte: autoria própria (2022)

Tabela 25 - Resultados obtidos para cor instrumental (L* a* b*) em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
	Luminosidade (L*)				
T1	48,81±0,54 ^{dA}	48,14±0,12 ^{fA}	45,63±1,34 ^{eB}	43,56±0,50 ^{eBC}	41,31±1,16 ^{dC}
T2	50,30±0,63 ^{dA}	49,96±0,61 ^{eAB}	47,80±1,64 ^{eB}	45,19±0,43 ^{eC}	44,97±0,47 ^{dC}
T3	58,24±0,37 ^{cA}	57,91±0,83 ^{dAB}	58,32±0,83 ^{dA}	56,71±0,15 ^{dBC}	56,15±0,26 ^{cC}
T4	57,72±0,32 ^{cA}	57,39±0,65 ^{dA}	58,65±2,03 ^{dA}	56,23±0,66 ^{dA}	56,55±0,27 ^{cA}
T5	63,33±0,74 ^{bA}	63,67±0,27 ^{cA}	63,04±0,37 ^{cA}	63,10±2,01 ^{cA}	63,00±0,37 ^{bA}
T6	64,71±1,43 ^{bA}	64,38±0,34 ^{bcA}	63,91±0,79 ^{bcA}	63,90±0,23 ^{bcA}	63,82±0,74 ^{abA}
T7	67,43±0,09 ^{aA}	67,37±0,18 ^{aA}	67,23±0,67 ^{abA}	66,95±1,58 ^{abA}	65,68±2,41 ^{abA}
T8	68,03±0,31 ^{aA}	68,36±0,32 ^{aA}	68,17±0,90 ^{aA}	69,15±2,70 ^{aA}	67,95±0,17 ^{aA}
T9	64,73±1,79 ^{bA}	65,40±0,66 ^{bA}	61,34±0,99 ^{cdA}	61,63±0,30 ^{cA}	61,60±3,37 ^{bA}
	Parâmetro de cor a*				
T1	2,54±0,36 ^{aC}	2,78±0,16 ^{aC}	3,25±0,55 ^{aBC}	3,83±0,39 ^{aB}	5,47±0,11 ^{aA}
T2	-0,75±0,12 ^{bD}	-0,59±0,09 ^{bD}	-0,19±0,04 ^{bC}	0,15±0,02 ^{bB}	1,18±0,10 ^{bA}
T3	-1,79±0,16 ^{cC}	-1,66±0,23 ^{cC}	-1,42±0,21 ^{cBC}	-1,03±0,16 ^{cAB}	-0,72±0,24 ^{cA}
T4	-1,72±0,09 ^{cB}	-1,63±0,26 ^{cAB}	-1,52±0,14 ^{cAB}	-1,40±0,17 ^{cAB}	-1,21±0,10 ^{cA}
T5	-3,12±0,08 ^{dB}	-3,05±0,04 ^{dB}	-2,96±0,35 ^{dAB}	-2,66±0,30 ^{dAB}	-2,37±0,31 ^{dA}
T6	-3,51±0,16 ^{deA}	-3,48±0,30 ^{deA}	-3,36±0,46 ^{dA}	-3,50±0,47 ^{eA}	-3,34±0,35 ^{deA}
T7	-3,93±0,06 ^{efA}	-3,89±0,11 ^{efA}	-3,64±0,22 ^{deA}	-3,60±0,04 ^{eA}	-3,46±0,33 ^{eA}
T8	-4,33±0,08 ^{fA}	-4,40±0,51 ^{fA}	-4,38±0,27 ^{eA}	-4,44±0,27 ^{fA}	-4,31±0,20 ^{eA}
T9	-4,00±0,06 ^{fA}	-3,95±0,37 ^{efA}	-3,65±0,23 ^{deA}	-3,56±0,11 ^{eA}	-3,64±0,82 ^{eA}
	Parâmetro de cor b*				
T1	15,90±1,31 ^{aB}	16,90±0,76 ^{aB}	18,02±0,87 ^{aB}	21,41±0,95 ^{aA}	22,77±1,05 ^{aA}
T2	12,98±0,15 ^{bB}	13,81±0,67 ^{bB}	14,46±0,32 ^{bB}	16,37±0,29 ^{bA}	17,53±1,33 ^{bA}
T3	9,50±0,55 ^{cB}	9,24±0,99 ^{cB}	9,73±0,82 ^{cB}	11,24±1,41 ^{cB}	14,01±0,46 ^{cA}
T4	9,34±0,89 ^{cA}	9,41±0,83 ^{cA}	9,52±0,38 ^{cA}	10,28±0,35 ^{cdA}	10,54±0,42 ^{dA}
T5	7,98±0,07 ^{cdB}	8,07±0,12 ^{dAB}	8,24±0,26 ^{cdAB}	8,68±0,48 ^{deA}	8,65±0,16 ^{deAB}
T6	7,26±6,70 ^{deA}	7,46±0,29 ^{dA}	7,65±0,18 ^{dA}	7,53±0,19 ^{efA}	7,74±0,24 ^{eA}
T7	6,70±0,56 ^{deA}	7,17±0,06 ^{deA}	7,37±0,27 ^{dA}	7,50±1,49 ^{efA}	7,46±0,33 ^{eA}
T8	5,54±0,50 ^{eA}	5,37±0,25 ^{fA}	5,65±0,43 ^{eA}	5,60±0,04 ^{fA}	5,18±0,57 ^{fA}
T9	6,27±0,61 ^{deA}	6,21±0,68 ^{efA}	7,00±0,83 ^{deA}	6,45±0,16 ^{efA}	7,02±1,12 ^{efA}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se que as batatas processadas *in natura* (T1) exibiram os menores valores para L^* e os maiores para a^* e b^* , indicando amostras com coloração mais escura, com maior tendência ao vermelho e ao amarelo, respectivamente, com maior grau de escurecimento não enzimático, acentuado no decorrer do armazenamento. As batatas processadas branqueadas antes do cozimento e esterilização (T2) mostraram-se com L^* similar ao tratamento T1, porém, com menor inclinação ao vermelho e amarelo durante todo o período armazenado, fato que pode ser atribuído à inativação da PPO e ao menor teor de açúcares redutores das batatas submetidas ao branqueamento (Tabela 17). Portanto, não houve escurecimento enzimático, bem como a reação de Maillard progrediu mais lentamente em comparação com as batatas não branqueadas (T1). Com a mesma característica, Bingol *et al.* (2014) relatam que tiras de batatas branqueadas por imersão apresentam valores de L^* significativamente equivalentes e a^* e b^* menores em relação a tiras de batatas tratadas por branqueamento infravermelho, possivelmente devido à lixiviação de açúcares redutores.

As batatas processadas tratadas com branqueamento e fermentação (T3) melhoraram significativamente os parâmetros de cor (L^* a^* b^*) em relação aos tratamentos controles (T1 e T2), devido à perda significativa de açúcares redutores totais (Tabela 17) utilizados para desencadear a reação de Maillard. O tratamento T4, no qual adicionalmente ao anterior continha ácido cítrico, proporcionou resultados estatisticamente similares aos obtidos para o tratamento T3, com a vantagem de as batatas submetidas a esse tratamento apresentarem estabilidade nos parâmetros de cor (L^* a^* b^*) durante todo o armazenamento, enquanto as submetidas ao tratamento T3 escureceram significativamente a partir do 45º dia de armazenamento. A redução do pH promovida pelo ácido cítrico também contribuiu para o controle da intensidade da reação de Maillard, devido à menor reatividade do grupo amino com açúcares redutores em condições ácidas (HEMMLER *et al.*, 2018; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; MESTDAGH *et al.*, 2008).

O uso combinado do branqueamento, ácido cítrico e cisteína (T5), assim como a associação destes com o processo de fermentação por *Lactobacillus acidophilus* (T6) minimizaram significativamente a formação de melanoidinas nas batatas processadas, apresentando resultados similares entre si e consistentes durante todo período estudado, com valores médios de 63,69 para L^* , -3,14 para a^* e 7,93 para b^* . Esses resultados estão muito próximos ao do tratamento padrão com MBS (T9), o

qual correspondeu a L^* de 62,94, a^* de -3,76 e b^* de 6,59 durante o armazenamento por 60 dias. Esses são os parâmetros de cor das batatas processadas atualmente comercializadas pela indústria de alimentos parceira desta pesquisa; portanto, os tratamentos T5 e T6 apresentam potencial para substituir o MBS no processamento industrial de batatas, com ênfase para o tratamento T5, com resultados similares ao T6 com um processo a menos (fermentação). A otimização dos resultados obtidos com os tratamentos T5 e T6 em contraste com T3 e T4 deve-se ao efeito da cisteína, que possui um grupamento sulfidril livre capaz de reagir com açúcares redutores na fase inicial da reação de Maillard dificultando o desenvolvimento do escurecimento não enzimático (DAMODARAN, PARKIN; FENNEMA, 2008; ZHAO *et al.*, 2015), também pode dificultar a formação de compostos intermediários (ZENG *et al.*, 2017) ou ainda interagir com precursores intermediários para produzir produtos estáveis e incolores, como, tiazolidinas, hemiacetais ou tioacetais (BHARATE; BHARATE, 2014; FRIEDMAN, 1994; HEMMLER, *et al.*, 2018).

Ao avaliar o tratamento estabelecido pelo ponto ótimo gerado no DCCR para otimização da cisteína e glicina betaína no processamento de batatas (tópico 4.2.4), contendo 0,0625% de glicina betaína e 0,125% cisteína (T7) e a combinação desses compostos com o processo de fermentação (T8) foram obtidos os melhores resultados para cor, valores médios de 67,63 para L^* , -4,04 para a^* e 6,35 para b^* , indicando o menor grau de escurecimento alcançado nas batatas processadas, resultados significativamente melhores aos obtidos com o tratamento padrão (T9), no qual utilizou-se MBS com agente anti-escurecimento (L^* 62,94, a^* -3,76 e b^* 6,59). A minimização da formação de compostos escuros atingida pelos tratamentos T7 e T8, verificado pela diferença significativa principalmente nos parâmetros L^* e a^* em comparação com T5 e T6, respectivamente, deve-se ao efeito da glicina betaína. Uma possível alternativa refere-se à forte capacidade de hidratação da glicina betaína, podendo se ligar a moléculas de água sob efeito da temperatura (FEDOTOVA; KRUCHININ, 2017), fato que pode retardar o desenvolvimento da reação de Maillard, em razão da necessidade de um processo de desidratação para formação dos compostos intermediários (MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; PURLIS, 2010). Além disso, a glicina betaína contribui para a manutenção da estrutura das proteínas em situações adversas de alta salinidade e temperatura extremas (OSMAN, 2015; SAKAMOTO; MURATA, 2000; SUN *et al.*, 2020).

Os resultados obtidos para o índice de escurecimento nas batatas processadas tratadas por imersão química e/ou biológica estão expostos na Tabela 26.

Tabela 26 - Resultados obtidos para o índice de escurecimento em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
	Índice de escurecimento				
T1	0,115±0,002 ^{aC}	0,118±0,003 ^{aC}	0,144±0,011 ^{aB}	0,165±0,006 ^{aA}	0,175±0,004 ^{aA}
T2	0,079±0,006 ^{bC}	0,080±0,007 ^{bC}	0,109±0,013 ^{bB}	0,119±0,005 ^{bAB}	0,132±0,004 ^{bA}
T3	0,067±0,002 ^{cB}	0,065±0,004 ^{cB}	0,068±0,006 ^{cB}	0,077±0,005 ^{cAB}	0,085±0,010 ^{cA}
T4	0,043±0,002 ^{dB}	0,045±0,005 ^{dAB}	0,044±0,010 ^{dAB}	0,058±0,058 ^{dA}	0,053±0,002 ^{dAB}
T5	0,021±0,003 ^{eB}	0,024±0,004 ^{eAB}	0,026±0,001 ^{deAB}	0,031±0,003 ^{efA}	0,028±0,005 ^{efAB}
T6	0,019±0,002 ^{efA}	0,018±0,003 ^{eA}	0,019±0,003 ^{eA}	0,020±0,005 ^{fgA}	0,022±0,005 ^{efA}
T7	0,017±0,002 ^{efA}	0,016±0,002 ^{eA}	0,018±0,005 ^{eA}	0,019±0,002 ^{gA}	0,021±0,004 ^{efA}
T8	0,012±0,003 ^{fA}	0,014±0,003 ^{eA}	0,014±0,001 ^{eA}	0,015±0,001 ^{gA}	0,014±0,001 ^{fA}
T9	0,023±0,005 ^{eA}	0,026±0,004 ^{eA}	0,033±0,009 ^{deA}	0,036±0,002 ^{eA}	0,032±0,005 ^{eA}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Corroborando com os resultados de cor, as batatas processadas *in natura*, tratamento controle (T1) apresentaram o maior índice de escurecimento, seguido do tratamento contendo apenas o branqueamento (T2), intensificado com o decorrer do armazenamento, sugerindo que o desenvolvimento de melanoidinas formadas no estágio final da reação de Maillard foi superior nas batatas submetidas aos tratamentos T1 e T2. As batatas processadas submetidas ao processo de branqueamento e fermentação láctica (T3) e ácido cítrico (T4) melhoraram significativamente o índice de escurecimento, resultado que pôde ser otimizado com a adição de cisteína e glicina betaína aos tratamentos.

Dessa forma, observou-se que as batatas processadas que, além do branqueamento e ácido cítrico, foram tratadas por imersão com cisteína (T5), cisteína e fermentação (T6), glicina betaína e cisteína (T7), glicina betaína, cisteína e fermentação (T8) obtiveram os menores índices de escurecimento (0,012-0,031), bem como estabilidade durante o armazenamento por 60 dias. Esses resultados foram

significativamente similares ou melhores aos relatados para as batatas processadas tratadas com MBS (T9 - 0,023-0,036), mostrando que as combinações de métodos estudados para limitar a formação de compostos marrons oriundos da reação de Maillard foram tão eficazes quanto o MBS. O efeito positivo da cisteína no índice de escurecimento provocado pela reação de Maillard também é relatado em sistema modelo para processamento da cana-de-açúcar (PACHECO; CHRISTIAN; FENG, 2012), em hidrolisado de proteína de soja (HUANG *et al.*, 2011) e sistema proteína-açúcar de frango (ZENG *et al.*, 2017). Sob outra perspectiva, Xu *et al.* (2014) registram o efeito positivo da glicina betaína para reduzir a intensidade do escurecimento da reação de caramelização em meios de culturas para fermentação de L-lisina, nos quais conforme se aumenta a concentração de glicina betaína menor o índice de escurecimento registrado; os meios de cultura sem glicina betaína apresentam um índice de escurecimento de 0,185, quase quatro vezes mais do que os meios contendo 30 mM de glicina betaína (0,047).

O efeito da imersão química e/ou biológica no índice de compostos intermediários formados durante a reação de Maillard em batatas processadas e sua variação durante o armazenamento são exibidos na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados obtidos para o índice de compostos intermediários em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
	Índice de compostos intermediários				
T1	0,490±0,006 ^{aAB}	0,481±0,027 ^{aB}	0,515±0,002 ^{aA}	0,442±0,003 ^{aC}	0,394±0,002 ^{aD}
T2	0,428±0,003 ^{bAB}	0,430±0,050 ^{aAB}	0,470±0,001 ^{bA}	0,402±0,002 ^{bB}	0,404±0,010 ^{aB}
T3	0,351±0,001 ^{cAB}	0,332±0,008 ^{bB}	0,371±0,013 ^{cA}	0,337±0,002 ^{cAB}	0,329±0,026 ^{bB}
T4	0,314±0,004 ^{dA}	0,321±0,014 ^{bA}	0,354±0,008 ^{cA}	0,330±0,008 ^{cA}	0,316±0,043 ^{bA}
T5	0,199±0,002 ^{eC}	0,206±0,007 ^{cBC}	0,217±0,006 ^{dABC}	0,228±0,008 ^{dAB}	0,237±0,016 ^{cA}
T6	0,182±0,002 ^{fA}	0,180±0,002 ^{cdA}	0,191±0,010 ^{dA}	0,186±0,023 ^{eA}	0,176±0,012 ^{deA}
T7	0,141±0,009 ^{gA}	0,147±0,008 ^{dA}	0,154±0,014 ^{eA}	0,152±0,022 ^{fgA}	0,159±0,005 ^{deA}
T8	0,116±0,005 ^{hA}	0,131±0,005 ^{dA}	0,131±0,007 ^{eA}	0,127±0,007 ^{gA}	0,125±0,003 ^{eA}
T9	0,170±0,001 ^{fB}	0,181±0,002 ^{cdAB}	0,206±0,023 ^{dA}	0,171±0,003 ^{efB}	0,190±0,004 ^{cdAB}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

Observou-se que as batatas processadas dos tratamentos controles T1 (batata *in natura*) e T2 (batata branqueada) apresentaram os maiores índices de compostos intermediários provenientes da reação de Maillard, com redução no decorrer do armazenamento, provavelmente devido a transformação de alguns produtos intermediários em polímeros marrons (melanoidinas) (AJANDOUZ *et al.*, 2001), em concordância com o aumento do índice de escurecimento nesses tratamentos (Tabela 26).

A redução significativa da formação de compostos intermediários no tratamento T3 (batata branqueada + 45 minutos de fermentação) certamente ocorreu devido à redução no teor açúcares redutores, suprimindo a condensação inicial da reação de Maillard (FRIEDMAN, 1996). Esse processo, supostamente, retardou a formação de compostos intermediários durante o armazenamento. À vista disso, notou-se um aumento no índice de composto intermediários das batatas submetidas ao tratamento T3 no 30º dia de armazenamento com posterior decréscimo ao final do período analisado.

Para o tratamento T4 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação), sabia-se que somente a associação de branqueamento e controle do pH (adição de ácido cítrico) não seria suficiente para mitigar a formação de compostos intermediários em batatas processadas (tópico 4.1.3). No entanto, a combinação com o processo de fermentação trouxe resultados positivos, uma vez que além da menor disponibilidade de grupo amino, em função da redução do pH, também havia menor quantidade de açúcares, fatores que dificultam o desenvolvimento da reação de Maillard (BAARDSETH *et al.*, 2006; BLOM *et al.*, 2009; FRIEDMAN, 1996; HEMMLER *et al.*, 2018; MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; MESTDAGH *et al.*, 2008).

Ao adicionar cisteína e glicina betaína às combinações estudadas (T5, T6, T7 e T8) obteve-se significativamente o menor desenvolvimento de produtos intermediários da reação de Maillard em batatas processadas. Destacou-se os tratamentos T7 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína) e T8 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação) com os menores índices de compostos intermediários, similares ou inferiores ao tratamento T9 (Padrão MBS) dependendo do período analisado. Semelhantemente, o índice de formação de produtos intermediários é menor em sistema xilose-peptídeo de soja tratado com cisteína (ZHANG *et al.*, 2018b), bem como, a adição de 30 mM de glicina betaína em

meios de cultura diminui significativamente a formação de compostos intermediários, HMF e furfural, reduzindo de 0,638 para 0,081 e de 0,445 para 0,037, respectivamente (XU *et al.* 2014).

De maneira sucinta, ao mensurar o efeito individual e combinado da imersão química e biológica na intensidade da reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento notou-se que os tratamentos contendo branqueamento, ácido cítrico e cisteína (T5) e glicina betaína (T7) reduziram significativamente a formação de compostos marrons e de compostos intermediários, considerados tóxicos e mutagênicos. Como não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos T5 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína) e T6 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação) e entre T7 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína) e T8 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação), não seria viável incluir o processo de fermentação do ácido láctico na linha produtiva da indústria de processamento de batatas. Isso geraria desperdício por processamento desnecessário, com operadores executando tarefas dispensáveis, com aumento de custo e sem agregação de valor para o cliente (TUBINO, 2015). Segundo Bornia (2008), os processos que não contribuem efetivamente para agregação de valor ao produto devem ser minimizados constantemente, do mesmo modo que não se pode aceitar qualquer tipo de desperdício no processo produtivo.

4.4.4 Efeito Individual e Combinado da Imersão Química e Biológica no Perfil de Textura Da Batata Processada Pronta Para o Consumo Durante o Armazenamento

A Tabela 28 apresenta os resultados encontrados para a análise do perfil de textura em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica acompanhadas quinzenalmente durante dois meses. Os parâmetros avaliados foram: dureza 1, dureza 2, coesão, elasticidade, mastigabilidade e adesividade.

Tabela 28 - Resultado da Análise do Perfil de Textura realizada em batatas processadas submetidas a imersão química e/ou biológica durante o armazenamento

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)				
	1	15	30	45	60
Dureza 1 (N)					
T1	24,67±2,91 ^{AA}	25,03±5,42 ^{AA}	27,41±2,22 ^{AA}	27,56±1,27 ^{AA}	26,91±5,13 ^{AA}
T2	14,64±0,18 ^{BA}	14,71±1,67 ^{BA}	15,57±1,85 ^{BA}	14,97±0,59 ^{BA}	17,45±2,50 ^{BA}
T3	15,16±1,67 ^{BA}	14,99±0,95 ^{BA}	14,57±2,24 ^{BA}	17,62±2,05 ^{BA}	15,36±1,99 ^{BA}
T4	13,81±2,63 ^{BA}	14,04±2,49 ^{BA}	14,20±1,04 ^{BA}	14,45±0,17 ^{BA}	14,10±1,55 ^{BA}
T5	13,80±3,25 ^{BA}	14,38±1,60 ^{BA}	13,91±2,51 ^{BA}	14,62±1,71 ^{BA}	14,15±1,55 ^{BA}
T6	14,44±0,51 ^{BA}	14,03±1,35 ^{BA}	14,46±0,14 ^{BA}	13,85±3,82 ^{BA}	14,10±0,78 ^{BA}
T7	14,84±0,64 ^{BA}	14,65±1,12 ^{BA}	13,36±1,14 ^{BA}	14,08±0,61 ^{BA}	14,63±1,04 ^{BA}
T8	14,32±0,14 ^{BA}	14,70±1,17 ^{BA}	13,96±0,65 ^{BA}	14,36±2,23 ^{BA}	14,16±1,46 ^{BA}
T9	14,31±1,53 ^{BA}	14,82±1,49 ^{BA}	13,41±0,21 ^{BA}	16,51±1,33 ^{BA}	13,65±2,08 ^{BA}
Dureza 2 (N)					
T1	0,13±0,02 ^{AB}	0,13±0,02 ^{AB}	0,12±0,03 ^{AB}	21,54±1,48 ^{AA}	20,97±1,04 ^{AA}
T2	0,13±0,03 ^{AA}	0,13±0,02 ^{AA}	0,13±0,02 ^{AA}	0,12±0,03 ^{BA}	0,14±0,04 ^{BA}
T3	0,13±0,02 ^{AA}	0,14±0,02 ^{AA}	0,13±0,04 ^{AA}	0,12±0,02 ^{BA}	0,13±0,02 ^{BA}
T4	0,13±0,03 ^{AA}	0,14±0,01 ^{AA}	0,13±0,01 ^{AA}	0,13±0,02 ^{BA}	0,15±0,04 ^{BA}
T5	0,14±0,03 ^{AA}	0,13±0,03 ^{AA}	0,13±0,03 ^{AA}	0,13±0,02 ^{BA}	0,12±0,02 ^{BA}
T6	0,14±0,01 ^{AA}	0,13±0,03 ^{AA}	0,13±0,02 ^{AA}	0,12±0,03 ^{BA}	0,14±0,03 ^{BA}
T7	0,13±0,01 ^{AA}	0,13±0,04 ^{AA}	0,13±0,03 ^{AA}	0,12±0,03 ^{BA}	0,14±0,02 ^{BA}
T8	0,13±0,03 ^{AA}	0,13±0,02 ^{AA}	0,14±0,02 ^{AA}	0,14±0,04 ^{BA}	0,14±0,01 ^{BA}
T9	0,13±0,01 ^{AA}	0,13±0,01 ^{AA}	0,13±0,03 ^{AA}	0,14±0,01 ^{BA}	0,15±0,03 ^{BA}
Coesão					
T1	0,30±0,02 ^{AA}	0,29±0,06 ^{AA}	0,25±0,05 ^{AA}	0,28±0,09 ^{AA}	0,31±0,06 ^{AA}
T2	0,32±0,03 ^{AA}	0,35±0,08 ^{AA}	0,37±0,04 ^{AA}	0,36±0,07 ^{AA}	0,36±0,01 ^{AA}
T3	0,33±0,04 ^{AA}	0,33±0,09 ^{AA}	0,36±0,03 ^{AA}	0,34±0,01 ^{AA}	0,38±0,02 ^{AA}
T4	0,34±0,05 ^{AA}	0,34±0,04 ^{AA}	0,36±0,04 ^{AA}	0,36±0,05 ^{AA}	0,35±0,07 ^{AA}
T5	0,31±0,06 ^{AA}	0,36±0,10 ^{AA}	0,35±0,07 ^{AA}	0,35±0,04 ^{AA}	0,34±0,04 ^{AA}
T6	0,35±0,06 ^{AA}	0,33±0,06 ^{AA}	0,34±0,03 ^{AA}	0,36±0,03 ^{AA}	0,34±0,03 ^{AA}
T7	0,32±0,03 ^{AA}	0,32±0,03 ^{AA}	0,34±0,03 ^{AA}	0,35±0,08 ^{AA}	0,35±0,03 ^{AA}
T8	0,33±0,02 ^{AA}	0,32±0,02 ^{AA}	0,34±0,02 ^{AA}	0,37±0,04 ^{AA}	0,35±0,04 ^{AA}
T9	0,35±0,10 ^{AA}	0,34±0,05 ^{AA}	0,35±0,04 ^{AA}	0,35±0,05 ^{AA}	0,36±0,05 ^{AA}
Elasticidade					
T1	0,64±0,05 ^{AA}	0,61±0,15 ^{AA}	0,64±0,03 ^{AA}	0,66±0,04 ^{AA}	0,68±0,08 ^{AA}
T2	0,65±0,03 ^{AA}	0,62±0,05 ^{AA}	0,62±0,01 ^{AA}	0,64±0,04 ^{AA}	0,68±0,07 ^{AA}
T3	0,65±0,04 ^{AA}	0,69±0,04 ^{AA}	0,70±0,05 ^{AA}	0,66±0,02 ^{AA}	0,67±0,05 ^{AA}
T4	0,66±0,12 ^{AA}	0,67±0,03 ^{AA}	0,67±0,03 ^{AA}	0,64±0,06 ^{AA}	0,65±0,09 ^{AA}
T5	0,69±0,09 ^{AA}	0,67±0,04 ^{AA}	0,70±0,03 ^{AA}	0,65±0,10 ^{AA}	0,69±0,10 ^{AA}
T6	0,64±0,08 ^{AA}	0,66±0,02 ^{AA}	0,66±0,04 ^{AA}	0,65±0,03 ^{AA}	0,66±0,05 ^{AA}
T7	0,65±0,01 ^{AA}	0,66±0,07 ^{AA}	0,69±0,04 ^{AA}	0,66±0,05 ^{AA}	0,65±0,03 ^{AA}
T8	0,63±0,05 ^{AA}	0,66±0,04 ^{AA}	0,65±0,03 ^{AA}	0,64±0,01 ^{AA}	0,69±0,02 ^{AA}
T9	0,66±0,09 ^{AA}	0,65±0,04 ^{AA}	0,68±0,04 ^{AA}	0,66±0,02 ^{AA}	0,68±0,13 ^{AA}
Mastigabilidade (N)					
T1	4,70±0,68 ^{AA}	4,49±1,89 ^{AA}	4,45±1,29 ^{AA}	5,13±2,28 ^{AA}	5,77±1,78 ^{AA}
T2	3,04±0,25 ^{BA}	3,22±0,95 ^{AA}	3,57±0,69 ^{AA}	3,43±0,56 ^{AA}	4,19±0,29 ^{AB}
T3	3,24±0,25 ^{BA}	3,42±1,02 ^{AA}	3,68±0,92 ^{AA}	3,95±0,41 ^{AA}	3,94±0,48 ^{AB}
T4	3,04±0,62 ^{BA}	3,17±0,42 ^{AA}	3,44±0,74 ^{AA}	3,27±0,31 ^{AA}	3,07±0,34 ^{BA}
T5	2,84±0,66 ^{BA}	3,34±0,56 ^{AA}	3,31±0,28 ^{AA}	3,25±0,10 ^{AA}	3,32±0,26 ^{BA}
T6	3,17±0,18 ^{BA}	3,09±0,32 ^{AA}	3,27±0,46 ^{AA}	3,26±1,06 ^{AA}	3,20±0,77 ^{BA}
T7	3,03±0,16 ^{BA}	3,16±0,72 ^{AA}	3,14±0,66 ^{AA}	3,26±0,45 ^{AA}	3,38±0,17 ^{BA}

T8	2,98±0,38 ^{ba}	3,09±0,58 ^{aa}	3,12±0,34 ^{aa}	3,36±0,40 ^{aa}	3,39±0,39 ^{ba}
T9	3,16±0,54 ^{ba}	3,19±0,16 ^{aa}	3,21±0,25 ^{aa}	3,85±0,59 ^{aa}	3,31±0,49 ^{ba}
Adesividade (mJ)					
T1	2,00±0,46 ^{aa}	1,72±0,15 ^{aaB}	0,30±0,15 ^{ab}	0,32±0,07 ^{ab}	0,37±0,05 ^{ab}
T2	0,50±0,10 ^{ba}	0,57±0,21 ^{ba}	0,48±0,17 ^{aa}	0,53±0,11 ^{aa}	0,48±0,08 ^{aa}
T3	0,51±0,05 ^{ba}	0,51±0,08 ^{ba}	0,47±0,02 ^{aa}	0,51±0,09 ^{aa}	0,53±0,05 ^{aa}
T4	0,50±0,15 ^{ba}	0,53±0,10 ^{ba}	0,50±0,09 ^{aa}	0,47±0,15 ^{aa}	0,54±0,04 ^{aa}
T5	0,52±0,09 ^{ba}	0,56±0,05 ^{ba}	0,57±0,15 ^{aa}	0,54±0,07 ^{aa}	0,50±0,13 ^{aa}
T6	0,52±0,06 ^{ba}	0,52±0,06 ^{ba}	0,52±0,09 ^{aa}	0,52±0,03 ^{aa}	0,48±0,07 ^{aa}
T7	0,47±0,15 ^{ba}	0,50±0,01 ^{ba}	0,56±0,06 ^{aa}	0,51±0,07 ^{aa}	0,53±0,02 ^{aa}
T8	0,48±0,07 ^{ba}	0,51±0,09 ^{ba}	0,50±0,09 ^{aa}	0,52±0,04 ^{aa}	0,56±0,05 ^{aa}
T9	0,48±0,09 ^{ba}	0,44±0,16 ^{ba}	0,47±0,07 ^{aa}	0,49±0,07 ^{aa}	0,51±0,10 ^{aa}

T1: Controle 1, batata *in natura*; T2: Controle 2, batata branqueada; T3: Batata branqueada + 45 minutos de fermentação; T4: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 45 minutos de fermentação; T5: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína; T6: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T7: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína; T8: Batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaina + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação; T9: Padrão Metabissulfito de sódio. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística para o mesmo tratamento durante o armazenamento a nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria (2022)

A força a ser empregada para romper a batata processada durante a primeira mordida (Dureza 1) foi significativamente menor nas batatas que passaram pelo tratamento de branqueamento (T2), sem influência dos tratamentos químicos e/ou biológicos estudados. Isso aconteceu em função das mudanças estruturais (parede celular e lamela média) da batata, necessárias para se obter uma textura mais macia, ocorrer mais rapidamente nas batatas branqueadas do que nas não branqueadas (ABU-GHANNAM; CROWLEY, 2006; BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012; GARCÍA-SEGOVIA; ANDRÉS-BELLO; MARTÍNEZ-MONZÓ, 2008; ZHANG *et al.*, 2018a). Em contraste, a força a ser empregada para quebrar a batata processada durante a segunda mordida (Dureza 2) foi estaticamente similar para todos os tratamentos até o 30º dia de armazenamento. Posteriormente, houve aumento na dureza 2 das batatas submetidas ao tratamento controle (T1), podendo estar relacionada a alterações na parede celular da batata e no material péctico da lamela média ocorridas durante o armazenamento (CHIAVARO *et al.*, 2006).

As batatas processadas pronta para o consumo apresentaram coesividade entre 0,25 e 0,38 e elasticidade entre 0,61 e 0,70, sem identificação de variações significativas nesses parâmetros textura em função do branqueamento, tratamentos químicos e/ou biológicos empregados e do tempo de armazenamento. Da mesma

forma, Zhang *et al.* (2018a) não expõem diferenças estatísticas na elasticidade de cubos de batata do tratamento controle e daqueles tratados por branqueamento usando aquecimento por rádio frequência.

A diferença observada nos resultados de mastigabilidade das batatas do tratamento controle *in natura* (T1) em relação aos demais tratamentos certamente estava associada à maior força necessária para ruptura durante a primeira mordida (dureza 1) do tratamento T1, levando-se em conta que, a força necessária para mastigar um alimento sólido é atributo da multiplicação entre dureza 1, coesão e elasticidade (ALVAREZ; CANET; LÓPEZ, 2002; CHIAVARO *et al.*, 2006; SZCZESNIAK, 1963; SZCZESNIAK, 2002).

Observou-se que as batatas submetidas ao tratamento controle (T1) apresentaram adesividade (1,72-2,00) significativamente maior do que batatas submetidas aos demais tratamentos (0,44-0,57) durante os primeiros quinze dias de armazenamento; em seguida, houve redução significativamente nesse parâmetro de textura (0,30-0,37). A adesividade está relacionada à proporção, ao tamanho e à estrutura dos grãos de amido no tecido celular da batata, no qual cada célula ocupada por amido gelatinizado influencia na textura da batata na boca. Assim, as batatas com maior teor de amido gelatinizado estão associadas a uma textura farinhenta (seca), enquanto aquelas com menos amido e mais água retida produzem uma textura cerosa (pegajosa) (BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012; JANSKY, 2010).

A partir do exposto, confirmou-se que o uso do ácido cítrico, da fermentação láctica, da cisteína e da glicina betaína não impactaram no perfil de textura das batatas processadas, sendo que as alterações observadas em comparação ao tratamento controle (T1) foram derivadas do processo de branqueamento (T2).

Em conclusão, os resultados relatados mostraram claramente que os tratamentos T5 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína), T6 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,12% cisteína + 45 minutos de fermentação), T7 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína) e T8 (batata branqueada + 4% ácido cítrico + 0,0625% de glicina betaína + 0,125% cisteína + 45 minutos de fermentação) reduziram significativamente a intensidade da reação de Maillard em batatas processadas pronta para o consumo, mantendo a qualidade físico-química, a cor e a textura do produto durante o armazenamento. Entre esses, o controle do pH na presença de cisteína e glicina betaína (T7) teve resultado mais eficaz e permitiu a produção de batatas processadas

com cor, textura e qualidade físico-química comparável as mergulhadas em MBS. Embora seja necessária uma gestão tecnológica para implementação do processo na linha de produção industrial, tal tratamento pode ser explorado industrialmente por ser facilmente integrado na etapa de imersão em banho antioxidante, sem necessidades de incluir uma nova etapa produtiva, além de apresentar baixo custo-benefício e principalmente permitir a certificação orgânica do produto acabado.

5 CONCLUSÕES

Nesse estudo buscou-se compostos substitutos ao MBS para controlar a reação de Maillard em batatas processadas, visando a certificação orgânica do produto comercializado por uma agroindústria de processamento de alimentos, localizada no Paraná.

A partir do primeiro objetivo específico verificou-se, por meio de um DCCR, a necessidade de redução do pH e a manutenção da elevada a_w naturalmente presente na batata antes do processamento térmico, com tendência a alcançar pH 5 e a_w 0,99, condições ideais para o processamento das batatas prontas para o consumo, possibilitando a otimização de aproximadamente 20% nos parâmetros de cor e 40% no índice de escurecimento.

Com relação ao uso da cisteína e da glicina betaína como agentes anti-escurecimento em batatas processadas, os resultados do DCCR indicaram influência linear, quadrática e de interação significativa ($p < 0,05$) na formação de compostos da fase final e intermediária da reação de Maillard. As superfícies de respostas apresentaram região de máxima para L^* e de mínima para a^* , b^* , índice de escurecimento e índice de compostos intermediários com região ótima entre 0,12-0,20% de cisteína e 0,02-0,12% de glicina betaína. O perfil de desejabilidade indicou otimização simultânea das variáveis de respostas, visando a mitigação máxima da formação de melanoidinas e compostos intermediários da reação de Maillard em concentrações de 0,125% de cisteína e 0,0625% de glicina betaína. Nessas condições, foram obtidos L^* de 67,43, a^* de -3,93, b^* de 6,70, índice de escurecimento de 0,017 e índice de compostos intermediários de 0,141, atingindo desejabilidade global de 97% com a otimização de todas as variáveis dependentes, condição não alcançada somente com a otimização do pH e a_w .

O processo de fermentação láctica por *Lactobacillus acidophilus* mostrou-se um mecanismo eficaz para reduzir o escurecimento em batatas processadas, reduzindo significativamente ($p < 0,05$) a formação de compostos intermediários e de compostos escuros do estágio final da reação de Maillard, efeito intensificado conforme se ampliou o tempo de fermentação de 45 para 180 ou 240 minutos.

Enfim, ao avaliar o efeito combinado dos mecanismos anti-escurecimento estudados sobre a qualidade físico-química e intensidade da reação de Maillard em batata processada pronta para o consumo durante o armazenamento os resultados

mostraram que os tratamentos T5, T6, T7 e T8 reduziram significativamente a intensidade da reação de Maillard em batatas processadas pronta para o consumo, mantendo a qualidade físico-química, cor e textura do produto. No entanto, o tratamento biológico por 45 minutos não influenciou significativamente quando combinado com os tratamentos químicos.

Por fim, concluiu-se que o tratamento composto pela combinação do método de branqueamento, 4% ácido cítrico, 0,0625% de glicina betaína e 0,125% cisteína (T7) obteve os resultados mais eficazes para o controle da reação de Maillard no processamento industrial de batatas prontas para o consumo, podendo ser aplicado como alternativa ao uso do MBS, viabilizando a disponibilidade de produtos orgânicos ou ainda produtos convencionais mais saudáveis e sustentáveis. Dessa forma, a presente pesquisa dá o embasamento necessário à indústria para a certificação orgânica e a demanda dos consumidores por batatas processadas tipo pronta para o consumo de cor clara.

Em relação às contribuições práticas, a presente pesquisa proporciona o avanço nos processos de melhorias do sistema produtivo de batatas prontas para o consumo, podendo contribuir para o aumento da disponibilidade de produtos orgânicos no mercado, beneficiando indiretamente produtores orgânicos da região devido ao aumento da demanda por seus produtos agrícolas. Adicionalmente, os achados deste trabalho podem ser úteis para as indústrias de batata convencional, de cogumelos, de camarão ou de vegetais minimamente processados frescos, as quais também utilizam MBS ou de alguma forma precisam prevenir o escurecimento dos produtos. Além disso, pode contribuir para as indústrias que requerem a reação de Maillard sob condições controladas para compostos com funcionalidade tecnológica e antioxidantes. É importante mencionar a contribuição social deste trabalho, o qual favorecerá a redução do MBS presente em alimentos, aditivo alergênico associado a inúmeras reações adversas a saúde humana. Adicionalmente ao retirá-lo do processo produtivo de batata, reduz-se o risco de contaminação ambiental na região onde se localiza a empresa parceira deste estudo.

Em relação às contribuições teóricas, os achados deste trabalho corroboram e avançam a literatura sobre o setor de batatas processadas e as reações de escurecimento associadas e o uso de agentes anti-escurecimento, explorando o uso da glicina betaína, composto pouco estudado como aditivo em alimentos. Complementarmente ressalta a necessidade de tratar cada linha de produção

alimentar de forma individualizada, buscando primeiramente uma solução pontual, a qual futuramente pode ser melhorada e expandida para outras linhas de produtos ou sistemas alimentares, a partir de novas pesquisas.

Dentre algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser mencionadas:

- Otimizar o tempo e temperatura do banho de imersão do tratamento mais eficaz, visando obter resultados similares no menor tempo possível, uma vez que o tempo do banho de imersão com MBS utilizado na linha de produção de batatas é inferior aos 30 minutos considerados neste trabalho;

- Verificar a efetividade do tratamento mais eficaz em diferentes variedades de batatas, dado que a indústria utiliza diversas variedades para o processamento e cada uma apresenta um comportamento durante o tratamento térmico em função da sua composição;

- Realizar análise sensorial do tratamento mais eficaz, visando verificar a influência da redução do pH e aditivos utilizados no sabor percebido pelos consumidores;

- Estender o estudo para os demais vegetais da linha de produção da indústria, os quais também são suscetíveis às reações de escurecimento e utilizam o MBS;

- Expandir o estudo para mitigar principalmente a formação de compostos intermediários da reação de Maillard em produtos nos quais têm causado grande preocupação, como, o setor de batatas processadas congeladas pré-fritas, incluindo variáveis dependentes para quantificação específica da concentração de acrilamida e HMF.

REFERÊNCIAS

- ABOLHASANI, A.; BARZEGAR, M.; SAHARI, M. A. Effect of gamma irradiation on the extraction yield, antioxidant, and antityrosinase activities of pistachio green hull extract. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 144, p. 373-378, 2018.
- ABU-GHANNAM, N.; CROWLEY, H. The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 3, p. 335-344, 2006.
- ACEVEDO, N. C.; SCHEBOR, C.; BUERA, P. Non-enzymatic browning kinetics analysed through water–solids interactions and water mobility in dehydrated potato. **Food Chemistry**, v. 108, n. 3, p. 900-906, 2008.
- AHMADI, F. *et al.* Long-term anaerobic conservation of fruit and vegetable discards without or with moisture adjustment after aerobic preservation with sodium metabisulfite. **Waste Management**, v. 87, p. 258-267, 2019.
- AHMADI, F. *et al.* Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite. **Journal of Environmental Management**, v. 224, p. 113-121, 2018.
- AHMADI, M. *et al.* Application of the central composite design and response surface methodology to the advanced treatment of olive oil processing wastewater using Fenton's peroxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 123, n. 1-3, p. 187-195, 2005.
- AHMAD, R.; LIM, C. J.; KWON, S-Y. Glycine betaine: a versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. **Plant Biotechnology Reports**, v. 7, n. 1, p. 49-57, 2013.
- AJANDOUZ, E. H. *et al.* Effects of pH on caramelization and Maillard reaction kinetics in fructose-lysine model systems. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 7, p. 926-931, 2001.
- AJLOUNI, S.; PAN, Y. Effect of pH and whey protein isolate to glucose ratios on the formation of Maillard reaction products as antioxidants. **Agriculture and Natural Resources**, v. 48, n. 5, p. 759-768, 2014.
- ALI, H. M. *et al.* Browning inhibition mechanisms by cysteine, ascorbic acid and citric acid, and identifying PPO-catechol-cysteine reaction products. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 6, p. 3651-3659, 2015.
- ALI, H. M. *et al.* The role of various amino acids in enzymatic browning process in potato tubers and identifying the browning products. **Food Chemistry**, v. 192, p. 879-885, 2016.
- ALI, S. *et al.* Postharvest application of antibrowning chemicals modulates oxidative stress and delays pericarp browning of controlled atmosphere stored litchi fruit. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 3, p. e12746, 2019.

AL-QURASHI, A. D. *et al.* Postharvest chitosan, *trans*-resveratrol and glycine betaine dipping affect quality, antioxidant compounds, free radical scavenging capacity and enzymes activities of 'Sukkari' bananas during shelf life. **Scientia Horticulturae**, v. 219, p. 173-181, 2017.

ALVAREZ, M.; CANET, W.; LÓPEZ, M. Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis. **European Food Research and Technology**, v. 215, n. 1, p. 13-20, 2002.

ANDREOZZI, L. *et al.* Hypersensitivity reactions to food and drug additives: problem or myth?. **Acta Bio Medica Atenei Parmensis**, v. 90, n. 3-S, p. 80-90, 2019.

ANESE, M. *et al.* Effect of chemical and biological dipping on acrylamide formation and sensory properties in deep-fried potatoes. **Food Research International**, v. 42, n. 1, p. 142-147, 2009.

ANGÓS, I.; VÍRSEDA, P.; FERNÁNDEZ, T. Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 3, p. 422-430, 2008.

ANTOSOVSKY, J. *et al.* Effect of localities and organic fertilizers on yield in conditions of organic farming. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 65, n. 3, p. 799-806, 2017.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International**. 18th ed. Maryland: Gaithersburg. 2005. 3000 p.

ARACHCHI, S. J. T. *et al.* Optimization of Maillard reaction in model system of glucosamine and cysteine using response surface methodology. **Preventive Nutrition and Food Science**, v. 22, n. 1, p. 37-44, 2017.

ASCHEMANN-WITZEL, J.; VARELA, P.; PESCHEL, A. O. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping. **Food Quality and Preference**, v. 71, p. 117-128, 2019.

ASHRAF, M. F. M. R.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

AVIS, T. J, MICHAUD, M.; TWEDDELL, R. J. Role of lipid composition and lipid peroxidation in the sensitivity of fungal plant pathogens to aluminum chloride and sodium metabisulfite. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 73, n. 9, p. 2820-1824.

AYÓN-REYNA, L. E. *et al.* Changes in ascorbic acid and total phenolics contents associated with browning inhibition of pineapple slices. **Food Science and Technology**, n. AHEAD, 2019.

BAARDSETH, P. *et al.* Lactic acid fermentation reduces acrylamide formation and other Maillard reactions in French fries. **Journal of Food science**, v. 71, n. 1, p. C28-C33, 2006.

BAKSIENE, E. *et al.* Research of plant production and quality on different farming systems. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n. 2, p. 296-301, 2014.

BARAŃSKI, M. *et al.* Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 5, p. 794-811, 2014.

BARBAGALLO, R. N.; CHISARI, M.; SPAGNA, G. Enzymatic browning and softening in vegetable crops: studies and experiences. **Italian Journal of Food Science**, v. 21, n. 1, 2009.

BARET, P. V. Acceptance of innovation and pathways to transition towards more sustainable food systems. **Potato Research**, v. 60, n. 3-4, p. 383-388, 2017.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: aplicações na ciência e na indústria**. 4 ed. Bookman: Porto Alegre, 2011. 411 p.

BÁRTOVÁ, V. *et al.* Variation of nitrogenous components in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers produced under organic and conventional crop management. **European Journal of Agronomy**, v. 49, p. 20-31, 2013.

BELGIN ERDOĞDU, S. *et al.* Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 1, p. 133-137, 2007.

BELTRÁN, D. *et al.* Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 1, p. 37-46, 2005.

BETHKE, P. C. Progress and successes of the specialty crop research initiative on acrylamide reduction in processed potato products. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 4, p. 328-337, 2018.

BHARATE, S. S.; BHARATE, S. B. Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2271-2288, 2014.

BINGOL, G. *et al.* Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 135-142, 2014.

BLOM, H. *et al.* Lactic acid fermentation reduces acrylamide formed during production of fried potato products. **Aspects of Applied Biology**, v. 97, p. 65-71, 2009.

- BORDOLOI, A.; KAUR, L.; SINGH, J. Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. **Food Chemistry**, v. 133, n. 4, p. 1092-1100, 2012.
- BORGES, A. S. *et al.* Systemic allergic dermatitis caused by sodium metabisulfite in rectal enemas. **Contact Dermatitis**, v. 78, n. 6, p. 429-430, 2018.
- BORNIA, C. A. Gestão econômica. In: BATALHA, M. O. **Introdução à engenharia de produção**. 7 ed. Elsevier: Rio de Janeiro, 2008. p. 77.
- BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, n. 9, 1973.
- BRASIL. Lei nº 10831, de 23 de dezembro de 2003. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 dez. 2003.
- BRASIL. Resolução Da Diretoria Colegiada – RDC ANVISA/MS nº 8, de 06 de março de 2013. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 6 mar. 2013.
- BRAVO, K.; OSORIO, E. Characterization of polyphenol oxidase from Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruit. **Food chemistry**, v. 197, p. 185-190, 2016.
- BRAZINSKIENE, V. *et al.* Effect of farming systems on the yield, quality parameters and sensory properties of conventionally and organically grown potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. **Food chemistry**, v. 145, p. 903-909, 2014.
- BROWN, C. R. Antioxidants in potato. **American Journal of Potato Research**, v. 82, n. 2, p. 163-172, 2005.
- BURGOS, G. *et al.* The potato and its contribution to the human diet and health. In: CAMPOS, H.; ORTIZ, O. **The potato crop: Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind**. Springer, Cham, 2020. p. 37-74.
- CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de experimentos usando o Statística**. E-Papers: Rio de Janeiro, 2003. 260 p.
- CALDER, B. L. *et al.* The effectiveness of ozone and acidulant treatments in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, p. S492-S498, 2011.
- CANTOS, E. *et al.* Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3015-3023, 2002.
- CAPUANO, E. *et al.* Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. **Food Research International**, v. 42, n. 9, p. 1295-1302, 2009.

CAPUANO, E.; FOGLIANO, V. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 793-810, 2011.

CERIT, Í. *et al.* Postharvest application of thiol compounds affects surface browning and antioxidant activity of fresh-cut potatoes. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 10, p. e13378, 2020.

CEROLI, P. *et al.* Evaluation of food conservation technologies for potato cubes. **Potato Research**, v. 61, n.3, p. 219-229, 2018.

CHANG, H.; ZHANG, L.; LEE, J. Not all organic food is created equal: the role of product type, perceived authenticity, and construal level. **Journal of Marketing Communications**, v. 25, n. 8, p. 820-842, 2019.

CHANG, T. An updated review of tyrosinase inhibitors. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 10, n. 6, p. 2440-2475, 2009.

CHAN, K. *et al.* Base damage within single-strand DNA underlies in vivo hypermutability induced by a ubiquitous environmental agent. **PLoS Genetics**, v. 8, n. 12, p. e1003149, 2012.

CHENG, Y-J. *et al.* Enhanced tolerance of transgenic potato plants expressing choline oxidase in chloroplasts against water stress. **Botanical Studies**, v. 54, n. 1, p. 30, 2013.

CHEN, J. S.; WEI, C. I.; MARSHALL, M. R. Inhibition mechanism of kojic acid on polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 11, p. 1897-1901, 1991.

CHEN, T. H. H.; MURATA, N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, n. 3, p. 250-257, 2002.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods—A review. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 497-507, 2013.

CHIAVARO, E. *et al.* The effect of different cooking methods on the instrumental quality of potatoes (cv. Agata). **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 169-178, 2006.

CODEX ALIMENTARIUS. **General Standard for Food Additives**. Codex Stan 192-1995, 1995. Revision 2018. 475 p.

CODEX ALIMENTARIUS. **Organically Produced Food**. 3th. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Roma, 2007. 63p.

COLOVIC, M. B. *et al.* Sulphur-containing amino acids: protective role against free radicals and heavy metals. **Current Medicinal Chemistry**, v. 25, n. 3, p. 324-335, 2018.

CÓRDOVA, A. *et al.* Quality assessment and multivariate calibration of 5-hydroxymethylfurfural during a concentration process for clarified apple juice. **Food Control**, v. 95, p. 106-114, 2019.

- CZERWONKA, M.; OPIŁKA, J.; TOKARZ, A. Evaluation of 5-hydroxymethylfurfural content in non-alcoholic drinks. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 1, p. 11-18, 2018.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (Ed.). **Fennema's Food Chemistry**. CRC Press, 2008. 1158 p.
- DANCEY, C.; REIDY, J. Análise de Regressão. In: DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia**. 7 ed. Penso Editora: Porto Alegre, 2018. p. 367-402.
- DAO, L.; FRIEDMAN, M. Chlorogenic acid content of fresh and processed potatoes determined by ultraviolet spectrophotometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 2152-2156, 1992.
- DAS, A. *et al.* Impact of seven years of organic farming on soil and produce quality and crop yields in eastern Himalayas, India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 236, p. 142-153, 2017.
- DE OLIVEIRA, F. C. *et al.* Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the Maillard reaction: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 7, p. 1108-1125, 2016.
- DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.
- DEVAUX, A. *et al.* The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. **Potato Research**, v. 64, n. 4, p. 681-720, 2021.
- DI MONACO, R.; CAVELLA, S.; MASI, P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 2, p. 129-149, 2008.
- DJAMAN, K. *et al.* Characteristics of organically grown compared to conventionally grown potato and the processed products: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6289-6314, 2021.
- DOBROWOLSKI, J. C.; RODE, J. E.; SADLEJ, J. Cysteine conformations revisited. **Journal of Molecular Structure: THEOCHEM**, v. 810, n. 1-3, p. 129-134, 2007.
- DOS SANTOS, A. M. P. *et al.* Mineral and centesimal composition evaluation of conventional and organic cultivars sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) using chemometric tools. **Food Chemistry**, v. 273, p. 166-171, 2019.
- DUANGMAL, K.; APENTEN, R. K. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). **Food Chemistry**, v. 16, n. 54, p. 351-359, 1999.
- EISSA, H. A. *et al.* Thiol containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products. **Food Research International**, v. 39, n. 8, p. 855-863, 2006.
- ELLISON, B. *et al.* Putting the organic label in context: Examining the interactions between the organic label, product type, and retail outlet. **Food Quality and Preference**, v. 49, p. 140-150, 2016.

EREN, İ.; KAYMAK-ERTEKIN, F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 344-352, 2007.

FAIQ, M.; THEERAKULKAIT, C. Effect of papaya peel extract on browning inhibition in vegetable and fruit slices. **Italian Journal of Food Science**, v. 30, n. SI, p. 57-61, 2017.

FAN, W. *et al.* Improved tolerance to various abiotic stresses in transgenic sweet potato (*Ipomoea batatas*) expressing spinach betaine aldehyde dehydrogenase. **PLoS One**, v. 7, n. 5, p. e37344, 2012.

FARVIN, K. H. S.; GREJSEN, H. D.; JACOBSEN, C. Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (*Trachurus trachurus*): Effect on lipid and protein oxidation. **Food Chemistry**, v. 131, n. 3, p. 843-851, 2012.

FAZIO, T.; WARNER, C. R. A review of sulphites in foods: analytical methodology and reported findings. **Food Additives & Contaminants**, v. 7, n. 4, p. 433-454, 1990.

FEDOTOVA, M. V.; KRUCHININ, S. E. Hydration and ion-binding of glycine betaine: how they may be involved into protection of proteins under abiotic stresses. **Journal of Molecular Liquids**, v. 244, p. 489-498, 2017.

FELITSKY, D. J. *et al.* The exclusion of glycine betaine from anionic biopolymer surface: why glycine betaine is an effective osmoprotectant but also a compatible solute. **Biochemistry**, v. 43, n. 46, p. 14732-14743, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Food Balances 2014-2021**, 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO. **World Food and Agriculture: Statistical Yearbook 2021**. Rome, 2021. 368 p.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION – FDA. **Guidance for Industry Acrylamide in Foods**, 2016. 37 p.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION – FDA. **Title 21: Food and Drugs. Section 130. Food Standards: General**. 63 FR 14035, 1998, updated in 2019. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=881dca4af8436059f92b0a7e8706eb04&mc=true&node=se21.2.130_19&rgn=div8>. Acesso em: 15 mai. 2019.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION – FDA. **Title 21: Food and Drugs. Section 182. Substances Generally Recognized as Safe**. 51 FR 25025, 1986, updated in 2019. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=22e5170646e8daf63d2bf16da8e6bc70&mc=true&node=se21.3.182_13766&rgn=div8>. Acesso em: 15 mai. 2019.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION – FDA. **Title 21: Food and Drugs. Section 184. Direct Food Substances Affirmed as Generally Recognized as Safe**. 49 FR 5612, 1984, updated in 2019. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=e956d645a8b4e6b3e34e4e5d1b690209&mc=true&node=pt21.3.184&rgn=div5#se21.3.184_11271>. Acesso em: 06 nov. 2019.

- FRIEDMAN, M. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 5, p. 1523-1540, 1997.
- FRIEDMAN, M. Food browning and its prevention: an overview. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, v. 44, n. 3, p. 631-653, 1996.
- FRIEDMAN, M. Improvement in the safety of foods by sulfhydryl-containing amino acids and peptides. A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 1, p. 3-20, 1994.
- FURRER, A. N.; CHEGENI, M.; FERRUZZI, M. G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 1, p. 146-168, 2018.
- GALNAITYTĖ, A. *et al.* Evaluation of technological, economic and social indicators of different farming practices in Lithuania. **Economics & Sociology**, v. 10, n. 4, p. 189-202, 2017.
- GÄNZLE, M. G.; VERMEULEN, N.; VOGEL, R. F. Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. **Food Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 128-138, 2007.
- GAO, H. *et al.* Effect of exogenous γ -aminobutyric acid treatment on the enzymatic browning of fresh-cut potato during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 12, p. 5035-5044, 2018.
- GARCÍA-GAVÍN, J.; PARENTE, J.; GOOSSENS, A. Allergic contact dermatitis caused by sodium metabisulfite: a challenging allergen. A case series and literature review. **Contact Dermatitis**, v. 67, n. 5, p. 260-269, 2012.
- GARCÍA-SEGOVIA, P.; ANDRÉS-BELLO, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 1, p. 28-35, 2008.
- GOMES, A. M. P; MALCATA, F. X. *Bifidobacterium* spp. and *Lactobacillus acidophilus*: biological, biochemical, technological and therapeutical properties relevant for use as probiotics. **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, n. 4-5, p. 139-157, 1999.
- GOYENECHE, R.; *et al.* Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: Color evaluation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 93, n. 1, p. 106-113, 2014.
- GUNES, G.; LEE, C. Y. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 3, p. 572-575, 1997.
- GUPTA, N.; THIND, S. K.; BAINS, N. S. Glycine betaine application modifies biochemical attributes of osmotic adjustment in drought stressed wheat. **Plant Growth Regulation**, v. 72, n. 3, p. 221-228, 2014.
- HAJŠLOVÁ, J. *et al.* Quality of organically and conventionally grown potatoes: four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. **Food Additives and Contaminants**, v. 22, n. 6, p. 514-534, 2005.

HAMOUIZ, K. *et al.* Effect of cultivar, location and method of cultivation on the content of chlorogenic acid in potatoes with different flesh colour. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 10, p. 465-471, 2013.

HARRAQ, A. *et al.* Organic fertilizers mineralization and their effect on the potato "*Solanum tuberosum*" performance in organic farming. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2021.

HEMMLER, D. *et al.* Insights into the chemistry of non-enzymatic browning reactions in different ribose-amino acid model systems. **Scientific Reports**, v. 8, n.1, p.1-10, 2018.

HODGE, J. E. Dehydrated foods, chemistry of browning reactions in model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 1, n. 15, p. 928-943, 1953.

HOEFKENS, C. *et al.* The nutritional and toxicological value of organic vegetables: Consumer perception versus scientific evidence. **British Food Journal**, v. 111, n. 10, p. 1062-1077, 2009.

HONG, P. K.; BETTI, M. Non-enzymatic browning reaction of glucosamine at mild conditions: Relationship between colour formation, radical scavenging activity and α -dicarbonyl compounds production. **Food Chemistry**, v. 212, p. 234-243, 2016.

HUANG, M. *et al.* Contribution of sulfur-containing compounds to the colour-inhibiting effect and improved antioxidant activity of Maillard reaction products of soybean protein hydrolysates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 4, p. 710-720, 2011.

HÜPPE, R.; ZANDER, Kat. Consumer perspectives on processing technologies for organic food. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1212-1226, 2021.

IERNA, A.; PELLEGRINO, A.; MALVUCCIO, A. Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 134, p. 38-44, 2017.

JAGGAN, M.; MU, T.; SUN, H. The effect of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars on the sensory, nutritional, functional, and safety properties of French fries. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 12, p. e14912, 2020.

JANSKY, S. H. Potato flavor. **American Journal of Potato Research**, v. 87, n. 2, p. 209-217, 2010.

JIANG, Y. *et al.* Browning: Enzymatic browning. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P.; TOLDRA, F. **Encyclopedia of Food and Health**. 1st. Academic Press: Cambridge, 2016. p. 508-514.

JIANG, Z. *et al.* Effects of temperature and pH on angiotensin-I-converting enzyme inhibitory activity and physicochemical properties of bovine casein peptide in aqueous Maillard reaction system. **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 35-42, 2014.

JING, H.; KITTS, D. D. Antioxidant activity of sugar–lysine Maillard reaction products in cell free and cell culture systems. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 429, n. 2, p. 154-163, 2004.

- KAABER, L.; SUNDT, T. W.; SLINDE, E. Production of chips from potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) with high sugar content using lactic acid fermentation. **Potato Research**, v. 38, n. 1, p. 39-44, 1995.
- KAHL, J. *et al.* Organic food processing: a framework for concept, starting definitions and evaluation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 13, p. 2582-2594, 2014.
- KJÆR, A. *et al.* Detection of glycoalkaloids and chlorophyll in potatoes (*Solanum tuberosum* L.) by hyperspectral imaging. **American Journal of Potato Research**, v. 94, n. 6, p. 573-582, 2017.
- KEIJBETS, M. J. H. Potato processing for the consumer: developments and future challenges. **Potato Research**, v. 51, n. 3-4, p. 271-281, 2008.
- KILIC-AKYILMAZ, M.; GULSUNOGLU, Z. Additives and preservatives. In: HUI, Y. H.; EVRANUZ, E. O. **Handbook of vegetable preservation and processing**, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, 2015. p. 301-318.
- KIM, K.; YANG, Y. Production of protocatechualdehyde using tyrosinase purified from potato. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, n. 4, p. 283-287, 2012.
- KNISS, A. R.; SAVAGE, S. D.; JABBOUR, R. Commercial crop yields reveal strengths and weaknesses for organic agriculture in the United States. **PloS One**, v. 11, n. 8, p. e0161673, 2016.
- KOLAEI, E. A.; TWEDDELL, R. J.; AVIS, T. J. Antifungal activity of sulfur-containing salts against the development of carrot cavity spot and potato dry rot. **Postharvest Biology and Technology**, v. 63, n. 1, p. 55-59, 2012.
- KRETZSCHMAR, U.; SCHMID, O. Quality and safety aspects of organic and low-input food processing: Results of a Delphi survey from an expert consultation in 13 European countries. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 58, n. 3-4, p. 111-116, 2011.
- KUBO, I. *et al.* Flavonols from *Heterotheca inuloides*: tyrosinase inhibitory activity and structural criteria. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 8, n. 7, p. 1749-1755, 2000.
- KWAK, E. J.; LIM, S. I. The effect of sugar, amino acid, metal ion, and NaCl on model Maillard reaction under pH control. **Amino Acids**, v. 27, n. 1, p. 85-90, 2004.
- KWIATKOWSKI, C. A.; HARASIM, E. Chemical properties of soil in four-field crop rotations under organic and conventional farming systems. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 1045-1060, 2020.
- LAROQUE, D. *et al.* Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 1032-1042, 2008.
- LAURILA, E.; KERVINEN, R.; AHVENAINEN, R. The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. **Postharvest News and Information**, v. 9, n. 4, p. 53-66, 1998.

- LEDL, F.; SCHLEICHER, E. New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body. **Angewandte Chemie International Edition in English**, v. 29, n. 6, p. 565-594, 1990.
- LEE, J. *et al.* Reduction of acrylamide formation in potato chips fermented by *Bacillus* sp. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 3, p. 460-465, 2016.
- LEE, W. J. *et al.* You taste what you see: Do organic labels bias taste perceptions?. **Food Quality and Preference**, v. 29, n. 1, p. 33-39, 2013.
- LEE, Y. *et al.* New functionalities of Maillard reaction products as emulsifiers and encapsulating agents, and the processing parameters: a brief review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1379-1385, 2017.
- LEIVAS, C. L. *et al.* Structural, physico-chemical, thermal and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) flour. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, n. 3, p. 2211-2216, 2013.
- LIANG, S.; MCDONALD, A. G.; COATS, E. R. Lactic acid production from potato peel waste by anaerobic sequencing batch fermentation using undefined mixed culture. **Waste Management**, v. 45, p. 51-56, 2015.
- LI, L. *et al.* Studies on browning inhibition technology and mechanisms of fresh-cut potato. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 6, p. e13263, 2017.
- LIMBO, S.; PIERGIOVANNI, L. Shelf life of minimally processed potatoes: Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 3, p. 254-264, 2006.
- LIU, Y.; BOLEN, D. W. The peptide backbone plays a dominant role in protein stabilization by naturally occurring osmolytes. **Biochemistry**, v. 34, n. 39, p. 12884-12891, 1995.
- LOMBARDO, S. *et al.* The phenology, yield and tuber composition of 'early' crop potatoes: A comparison between organic and conventional cultivation systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, n. 1, p. 50-58, 2013.
- LOMBARDO, S.; PANDINO, G.; MAUROMICALE, G. The effect on tuber quality of an organic versus a conventional cultivation system in the early crop potato. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, p. 189-196, 2017.
- LOPES, A. S. **Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto**. 193 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.
- LOVATTO, M. T.; *et al.* Processamento mínimo de tubérculos de batata de baixo valor comercial. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 258-265, 2012.
- MÄDER, P. *et al.* Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v. 296, n. 5573, p. 1694-1697, 2002.

- MAGKOS, F.; ARVANITI, F.; ZAMPELAS, A. Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 54, n. 5, p. 357-371, 2003.
- MAGNUSSON, M. K. *et al.* Attitudes towards organic foods among Swedish consumers. **British Food Journal**, v. 103, n. 3, p. 209-227, 2001.
- MAHMOUDI, R. *et al.* Using curcumin to prevent structural impairments of testicles in rats induced by sodium metabisulfite. **EXCLI Journal**, v. 16, p. 583, 2017.
- MALAJOVICH, M. A. Bioprocessos. In: MALAJOVICH, M. A. **Biotechnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2016. p. 58-71.
- MARTINEZ, M. V.; WHITAKER, J. R. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 6, p. 195-200, 1995.
- MARTINS, S. I. F. S.; JONGEN, W. M. F.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 9-10, p. 364-373, 2000.
- MATÉ, J. I. *et al.* Effect of blanching on structural quality of dried potato slices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 2, p. 676-681, 1998.
- MATHLOUTHI, M. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. **Food Control**, v. 12, n. 7, p. 409-417, 2001.
- MATOS I. M, *et al.* Environmental mutagenicity and toxicity caused by sodium metabisulfite in sea shrimp harvesting in Piauí, Brazil. **Chemosphere**, v. 82, n. 7, p. 1056-1061, 2011.
- MAYER, A. M.; HAREL, E. Polyphenol oxidases in plants. **Phytochemistry**, v. 18, n. 2, p. 193-215, 1979.
- MA, Y. *et al.* Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphite. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 7, p. 1486-1494, 2010.
- MCNEIL, S. D.; NUCCIO, M. L.; HANSON, A. D. Betaines and related osmoprotectants. Targets for metabolic engineering of stress resistance. **Plant Physiology**, v. 120, n. 4, p. 945-949, 1999.
- MENG, Z. *et al.* Exogenous isoleucine can confer browning resistance on fresh-cut potato by suppressing polyphenol oxidase activity and improving the antioxidant capacity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 184, p. 111772, 2022.
- MENG, Z.; ZHANG, L. Cytogenetic damage induced in human lymphocytes by sodium bisulfite. **Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 298, n. 2, p. 63-69, 1992.
- MESQUITA, V. L. V.; QUEIROZ, C. Enzymatic browning. In: ESKIN, N. A. M.; SHAHIDI, F. **Biochemistry of Foods**. 3rd. Academic Press: Cambridge, 2013. p. 387-418.
- MESTDAGH, F. *et al.* Impact of additives to lower the formation of acrylamide in a potato model system through pH reduction and other mechanisms. **Food Chemistry**, v. 107, n. 1, p. 26-31, 2008.

MEYER, H-P.; MINAS, W.; SCHMIDHALTER, D. Industrial-scale fermentation. In: WITTMANN, C.; LIAO, J. **Industrial biotechnology: Products and processes**. Wiley: New Jersey, United States, 2017. p. 1-53.

MIAO, Y. *et al.* Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in reconstituted potato chips during frying. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 12, p. 4005-4011, 2014.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MISHRA, B. B.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. Purification and characterisation of polyphenol oxidase (PPO) from eggplant (*Solanum melongena*). **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1855-1861, 2012.

MILLS, A. A.; PLATT, H. W.; HURTA, R. A. Effect of salt compounds on mycelial growth, sporulation and spore germination of various potato pathogens. **Postharvest Biology and Technology**, v. 34, n. 3. P. 341-350, 2004.

MITAL, B. K.; GARG, S. K. Acidophilus milk products: manufacture and therapeutics. **Food Reviews International**, v. 8, n. 3, p. 347-389, 1992.

MITAL, B. K.; SHALLENBERGER, R. S.; STEINKRAUS, K. H. α -Galactosidase activity of lactobacilli. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 26, n. 5, p. 783-788, 1973.

MOON, K. M. *et al.* Swertiajaponin as an anti-browning and antioxidant flavonoid. **Food Chemistry**, v. 252, p. 207-214, 2018.

MOON, K. M. *et al.* Xanthone-related compounds as an anti-browning and antioxidant food additive. **Food Chemistry**, v. 274, p. 345-350, 2019.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2016. 361 p.

MORALES, F. J.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. A study on advanced Maillard reaction in heated casein/sugar solutions: fluorescence accumulation. **International Dairy Journal**, v. 7, n. 11, p. 675-683, 1997.

MOSTAFA, R. A.; ALI, M. I. K.; MAHMOUD, M. A. Comparative study between fermented lactic acid bacteria solution and brine solution on reduction of acrylamide formed during production of fried potato. **Journal of Food & Nutritional Disorders**, 8, v. 1, p. 2-6, 2019.

MUKHERJEE, S.; CHATTOPADHYAY, P. K. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 52-60, 2007.

MURNIECE, I. *et al.* Nutritional composition of freshly harvested and stored Latvian potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties depending on traditional cooking methods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 4-5, p. 699-710, 2011.

NASCIMENTO, R. F.; CANTERI, M. H. G. Use of sodium metabisulfite and ascorbic acid as anti-browning agents in processed potatoes. **British Food Journal**, v.122, n.2, p. 380-389, 2020.

NASCIMENTO, R. F. *et al.* Use of sodium metabisulphite and ascorbic acid to control browning in ready-to-eat processed potatoes during prolonged storage. **Potato Research**, v. 63, p. 615-625, 2020.

NASCIMENTO, R. F. **Redução de metabissulfito de sódio no processamento industrial de batatas**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

NGOBESE, N. Z. *et al.* Nutrient composition and starch characteristics of eight European potato cultivars cultivated in South Africa. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 55, p. 1-11, 2017.

NICOLAS, J. J. *et al.* Enzymatic browning reactions in apple and apple products. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 34, n. 2, p. 109-157, 1994.

NI EIDHIN, D.; DEGN, P.; O'BEIRNE, D. Characterization of polyphenol oxidase from rooster potato (*solanum tuberosum* cv rooster). **Journal of Food Biochemistry**, v. 34, n. 1, p. 13-30, 2010.

NOOSHKAM, M.; VARIDI, M.; BASHASH, M. The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems. **Food Chemistry**, v. 275, n.1, p. 644-660, 2019.

NUNES, T.; C. Otimização dos parâmetros da flotação de minério de ferro utilizando metodologia de superfície de resposta. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá. Itabira, 2019.

O'BRIEN, J.; MORRISSEY, P. A.; AMES, J. M. Nutritional and toxicological aspects of the Maillard browning reaction in foods. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 28, n. 3, p. 211-248, 1989.

OJEDA, G. A.; SGROPPO, S. C.; ZARITZKY, N. E. Fogging with antibrowning agents as an alternative to conventional immersion treatments to extend shelf life of mushrooms. **International Journal of Food Science & Technology**, v. n.55, n. 2, p. 660-668, 2020.

OSMAN, H. S. Enhancing antioxidant–yield relationship of pea plant under drought at different growth stages by exogenously applied glycine betaine and proline. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 60, n. 2, p. 389-402, 2015.

PACHECO, M. D.; CHRISTIAN, J. I.; FENG, B. Study of Maillard reaction inhibitors for the sugar cane processing. **American Journal of Food Technology**, v. 7, n. 8, p. 470-478, 2012.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PANDA, S. H.; PARMANICK, M.; RAY, R. C. Lactic acid fermentation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) into pickles. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 31, n. 1, p. 83-101, 2007.

- PARAVISINI, L.; PETERSON, D. G. Role of Reactive Carbonyl Species in non-enzymatic browning of apple juice during storage. **Food Chemistry**, v. 245, p. 1010-1017, 2018.
- PARK, S-C. *et al.* Enhanced drought and oxidative stress tolerance in transgenic sweetpotato expressing a *codA* gene. **Journal of Plant Biotechnology**, v. 42, n. 1, p. 19-24, 2015.
- PATRA, A. K. *et al.* Influence of long-term organic nutrient management on soil quality and crop productivity in rice (*Oryza sativa*)–potato (*Solanum tuberosum*)–okra (*Abelmoschus esculentus*) cropping system under irrigated condition. **Indian Society of Agronomy**, p. 268, 2017.
- PEDRESCHI, F. *et al.* Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 443-447, 2009.
- PEREZ-LOCAS, C.; YAYLAYAN, V. A. The Maillard reaction and food quality deterioration. In: SKIBSTED, L. H.; RISBO, J.; ANDERSEN, M. L. **Chemical deterioration and physical instability of food and beverages**. Woodhead Publishing: Cambridge, 2010. p. 70-94.
- PETRI, E. *et al.* Effect of preservative agents on the respiration rate of minimally processed potato (*Solanum tuberosum* cv. Monalisa). **Journal of Food Science**, v. 73, n. 3, p. C122-C126, 2008.
- PORTILLO, E. *et al.* Assessment of the abiotic and biotic effects of sodium metabisulphite pulses discharged from desalination plant chemical treatments on seagrass (*Cymodocea nodosa*) habitats in the Canary Islands. **Marine Pollution Bulletin**, v. 80, n. 1-2, p. 222-233, 2014.
- POST, A. SHANAHAN, H.; JONSSON, L. Food processing: barriers to, or opportunities for, organic foods in the catering sector?. **British Food Journal**, v. 110, n. 2, p. 160-173, 2008.
- PRADA, M.; GARRIDO, M. V.; RODRIGUES, D. Lost in processing? Perceived healthfulness, taste and caloric content of whole and processed organic food. **Appetite**, v. 114, p. 175-186, 2017.
- PRECZENHAK, A. P. *et al.* Cysteine enhances the content of betalains and polyphenols in fresh-cut red beet. **Food Chemistry**, v. 286, p. 600-607, 2019.
- PURLIS, E. Browning development in bakery products—A review. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 3, p. 239-249, 2010.
- QUEIROZ, C. *et al.* Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control. **Food Reviews International**, v. 24, n. 4, p. 361-375, 2008.
- RADY, A. M. *et al.* The potential use of visible/near infrared spectroscopy and hyperspectral imaging to predict processing-related constituents of potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 135, p. 11-25, 2014.
- RALPH, T. R. *et al.* The electrochemistry of L-cystine and L-cysteine: Part 1: Thermodynamic and kinetic studies. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 375, n. 1-2, p. 1-15, 1994.

- REIS, F. R.; MASSON, M. L.; WASZCZYNSKYJ, N. Influence of a blanching pretreatment on color, oil uptake and water activity of potato sticks, and its optimization. **Journal of Food Process Engineering**, v. 31, n. 6, p. 833-852, 2008.
- REVOREDO-GIHA, C. Hitting the jackpot and the health agenda: the case of processed potato products. **Procedia Economics and Finance**, v. 14, p. 525-533, 2014.
- RICHARD-FORGET, F. C.; GOUPY, P. M.; NICOLAS, J. J. Cysteine as an inhibitor of enzymic browning. 2. Kinetic studies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 2108-2113, 1992.
- RICIPUTI, Y. *et al.* Establishment of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from industrial potato by-products using response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 269, p. 258-263, 2018.
- ROCCULI, P. *et al.* Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 1, p. 151-157, 2007.
- RODRIGUES, N. H. P. **Embalagem de espuma à base de amido desenvolvida a partir de subproduto da industrialização da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2020. 98 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.
- ROSSI, F. *et al.* Potato cultivars for organic production systems. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 372-376, 2011.
- RUFÍAN-HENARES, J. A.; MORALES, F. J. Functional properties of melanoidins: In vitro antioxidant, antimicrobial and antihypertensive activities. **Food Research International**, v. 40, n. 8, p. 995-1002, 2007.
- SADOWSKA, B. *et al.* Sodium metabisulfite hypersensitivity in urticaria. **Our Dermatology Online**, v. 12, n. 2, p. 106-112, 2021.
- SAHOTA, A. The global market for organic food & drink. In: WILLER, H. *et al.* **The world of organic agriculture: Statistics and emerging trends 2021**. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn, 2021. p. 135-150.
- SAKAMOTO, A.; MURATA, N. Genetic engineering of glycine betaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 342, p. 81-88, 2000.
- SAKAMOTO, A.; MURATA, N. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 163-171, 2002.
- SCHIELZETH, H. Simple means to improve the interpretability of regression coefficients. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 1, n. 2, p. 103-113, 2010.
- SCHRAMA, M. *et al.* Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 256, p. 123-130, 2018.
- SCHOUTETEN, J. J.; GELLYNCK, X.; SLABBINCK, H. Influence of organic labels on consumer's flavor perception and emotional profiling: Comparison between a central

location test and home-use-test. **Food Research International**, v. 116, p. 1000-1009, 2019.

SERPEN, A.; GÖKMEN, V. Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 6, p. 589-595, 2009.

SEVERINI, C. *et al.* Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 36, n. 7, p. 657-665, 2003.

SHAN, T. *et al.* Exogenous glycine betaine treatment enhances chilling tolerance of peach fruit during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 114, p. 104-110, 2016.

SNOECK, D.; RAPOSO, M. F. de J.; MORAIS, A. M. M. B. de. Polyphenol oxidase activity and colour changes of peeled potato (cv. Monalisa) in vacuum. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, v. 2, n. 3, p. 233-242, 2011.

SONG, Q. *et al.* Endogenous accumulation of glycine betaine confers improved low temperature resistance on transplastomic potato plants. **Functional Plant Biology**, 2020.

SRINIVAS, D.; MITAL, B. K.; GARG, S. K. Utilization of sugars by *Lactobacillus acidophilus* strains. **International Journal of Food Microbiology**, v. 10, n. 1, p. 51-57, 1990.

STEVENS, L. H. *et al.* Tyrosine and cysteine are substrates for blackspot synthesis in potato. **Phytochemistry**, v. 49, n. 3, p. 703-707, 1998.

SUKHONTHARA, S.; KAEWKA, K.; THEERAKULKAIT, C. Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree. **Food Chemistry**, v. 190, p. 922-927, 2016.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 385-389, 1963.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 4, p. 215-225, 2002.

SUN, H. *et al.* Exogenous glycine betaine treatment alleviates low temperature-induced pericarp browning of 'Nanguo' pears by regulating antioxidant enzymes and proline metabolism. **Food Chemistry**, v. 306, p. 125626, 2020.

TAN, T. C.; ALKARKHI, A. F. M.; EASA, A. M. Assessment of the ribose-induced Maillard reaction as a means of gelatine powder identification and quality control. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 2430-2436, 2012.

TAYLOR, S. L.; HIGLEY, N. A.; BUSH, R. K. Sulfites in foods: uses, analytical methods, residues, fate, exposure assessment, metabolism, toxicity, and hypersensitivity. In: CHICHESTER, C. O.; MRAK, E. M.; SCHWEIGERT, B. S. **Advances in food research**. Academic Press, 1986. p. 1-76.

TEOH, L. S. *et al.* The effect of ultraviolet treatment on enzymatic activity and total phenolic content of minimally processed potato slices. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 7, p. 3035-3042, 2016.

- TISARUM, R. *et al.* Foliar application of glycinebetaine regulates soluble sugars and modulates physiological adaptations in sweet potato (*Ipomoea batatas*) under water deficit. **Protoplasma**, v. 257, n. 1, p. 197-211, 2020.
- TIWARI, P. *et al.* Process standardization and storability of calcium fortified potato chips through vacuum impregnation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 8, p. 3221-3231, 2018.
- TOIVONEN, P. M. A; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 1-14, 2008.
- TSOUVALTZIS, P.; BRECHT, J. K. inhibition of enzymatic browning of fresh-cut potato by immersion in citric acid is not solely due to pH reduction of the solution. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 2, p. e12829, 2017.
- TSOUVALTZIS, P.; DELTSIDIS, A.; BRECHT, J. K. Hot water treatment and pre-processing storage reduce browning development in fresh-cut potato slices. **HortScience**, v. 46, n. 9, p. 1282-1286, 2011.
- TUBINO, D. F. **Manufatura enxuta como estratégia de produção: a chave para a produtividade industrial**. Atlas: São Paulo, 2015. 316 p.
- TYL, C.; SADLER, G. D. pH and titratable acidity. In: NIELSEN S. S. **Food analysis**. 5th. Springer, Cham, 2017. p. 389-406.
- VALLY, H.; MISSO, N. L. A; MADAN, V. Clinical effects of sulphite additives. **Clinical & Experimental Allergy**, v. 39, n. 11, p. 1643-1651, 2009.
- VÁMOS-VIGYÁZÓ, L. Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables: a review of principles and practice. In: LEE, C. Y.; WHITAKER, J. R. **Enzymatic browning and its prevention**, v. 600, 1995. p. 49-62.
- VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G. A. S.; DE ARAGAO, F. A. S. **Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3, 5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos**. Embrapa Agroindústria Tropical: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2013. 29 p.
- VELAYUTHAM, M. *et al.* Sulfite oxidase activity of cytochrome c: role of hydrogen peroxide. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v. 1, n. 5; p. 96-104, 2016.
- VITALITI, G. *et al.* Sodium metabisulphite allergy with multiple food and drug hypersensitivities in a five-year-old child: a case report and literature review. **Allergologia et Immunopathologia**, v. 43, n. 1, p. 106, 2015.
- XU, J. *et al.* An overlooked effect of glycine betaine on fermentation: prevents caramelization and increases the L-Lysine production. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, n. 10, p. 1368-1376, 2014.
- WANG, H. *et al.* The effects of phytic acid on the Maillard reaction and the formation of acrylamide. **Food Chemistry**, v. 141, n. 1, p. 18-22, 2013.
- WANG, J. *et al.* Glycine betaine alleviated peel browning in cold-stored 'Nanguo' pears during shelf life by regulating phenylpropanoid and soluble sugar metabolisms. **Scientia Horticulturae**, v. 262, p. 109100, 2020.

WHITAKER, J. R.; LEE, C. Y. Recent advances in chemistry of enzymatic browning. In: LEE, C. Y.; WHITAKER, J. R. **Enzymatic browning and its prevention**, v. 600, 1995. p. 2-7.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – WHO/FAO. **Evaluation of certain food additives**, sixty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food, no. 952, 2009. 222 p.

YAGANZA, E. S.; TWEDDELL, R. J.; ARUL, J. Postharvest application of organic and inorganic salts to control potato (*Solanum tuberosum* L.) storage soft rot: plant tissue–salt physicochemical interactions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 38, p. 9223-9231, 2014.

YEO, H. C. H.; SHIBAMOTO, T. Microwave-induced volatiles of the Maillard model system under different pH conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 2, p. 370-373, 1991.

YOO, J. *et al.* Potentiation of sodium metabisulfite toxicity by propylene glycol in both in vitro and in vivo systems. **Frontiers in Pharmacology**, v. 9, p. 161, 2018.

YOU, L. *et al.* Accumulation of glycine betaine in transplastomic potato plants expressing choline oxidase confers improved drought tolerance. **Planta**, v. 249, n. 6, p. 1963-1975, 2019.

ZALECKA, A. *et al.* The influence of organic production on food quality—research findings, gaps and future challenges. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 13, p. 2600-2604, 2014.

ZAMORA, R.; DELGADO, R. M.; HIDALGO, F. J. Amino phospholipids and lecithins as mitigating agents for acrylamide in asparagine/glucose and asparagine/2,4-decadienal model systems. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 104-108, 2011.

ZARE, S. *et al.* Protective effect of vitamin E and vitamin C alone and in combination on testicular damage induced by sodium metabisulphite in rats: A stereological study. **Andrologia**, v. 51, n. 2, p. e13193, 2019.

ZENG, X. *et al.* Browning intensity and taste change analysis of chicken protein–sugar Maillard reaction system with antioxidants and different drying processes. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 2, p. e13117, 2017.

ZHANG, M. *et al.* Antioxidant mechanism of betaine without free radical scavenging ability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 42, p. 7921-7930, 2016.

ZHANG, X. *et al.* The colorants, antioxidants, and toxicants from nonenzymatic browning reactions and the impacts of dietary polyphenols on their thermal formation. **Food & function**, v. 6, n. 2, p. 345-355, 2015.

ZHANG, Z. *et al.* Effects of radio frequency assisted blanching on polyphenol oxidase, weight loss, texture, color and microstructure of potato. **Food Chemistry**, v. 248, p. 173-182, 2018a.

ZHANG, Z. *et al.* Heating and cysteine effect on physicochemical and flavor properties of soybean peptide Maillard reaction products. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 2137-2146, 2018b.

ZHAO, P. *et al.* Optimization of additive combination based on L-cysteine for inhibition of nonenzymatic browning in cooked rice during storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 5, p. 488-494, 2015.

ZHOU, X. *et al.* Full inhibition of Whangkeumbae pear polyphenol oxidase enzymatic browning reaction by L-cysteine. **Food Chemistry**, v. 266, n.1, p. 1-8, 2018.

APÊNDICE A – Revisão Sistemática de Literatura utilizando *Methodi Ordinatio*
Desenvolvimento e resultados

Para a seleção dos artigos utilizados na revisão de literatura descrita nesse trabalho utilizou-se o *Methodi Ordinatio*, metodologia proposta por Pagani, Kovaleski e Resende (2015). Conforme as recomendações desse método foi adotado algumas etapas de pesquisa:

Etapa 1 - Pesquisa preliminar com as palavras-chave nas bases de dados.

Foi realizada uma pesquisa preliminar exploratória com diversas combinações de palavras-chave relacionadas a intenção de pesquisa nas bases de dados Science Direct, Scopus, Web of Science, Emerald Insight, Springer Link, Wiley Online, PubMed, BioMed e ACS Publications, com o intuito de melhorar a intenção de pesquisa, bem como, avaliar possíveis combinações de palavras-chave e bases de dados a serem utilizadas.

Devido à grande diversidade de temas pesquisados e a ausência de artigos retornados quando associados, optou-se por elaborar combinações de palavras-chaves específicas para cada tópico abordado na revisão de literatura (Tabela 29).

Etapa 2 - Definição da combinação das palavras-chave e busca nas bases de dados selecionadas.

As combinações de palavras-chaves utilizados para cada tópico da revisão de literatura e o número de artigos retornados para cada base de dados estão apresentados na Tabela 29.

Dentre as bases testadas, as selecionadas para a coleta de dados foram a Science Direct, Scopus, Web of Science e Pubmed. A Pubmed foi utilizada apenas para o tópico “Metabissulfito de sódio (MBS)”, devido a relevância do mesmo para a área da saúde. As bases de dados foram selecionadas em função da quantidade e disponibilidade de acesso dos materiais retornados, além disso, verificou-se a consistência no decorrer da pesquisa e se abrangiam os artigos contidos nas bases que não foram selecionadas.

Nesta etapa foi utilizado o Mendeley como gerenciador de referências para a coleta e armazenamento dos dados.

Tabela 29 - Resultados brutos da revisão sistemática de literatura

Revisão de Literatura Tópicos	Combinações de Palavras-chave	Base de Dados				Total
		Science Direct	Scopus	Web of Science	PubMed	
Alimentos orgânicos	("organic food*" OR "organic agriculture" OR "organic farming") AND (potato* OR <i>Solanum Tuberosum</i>)	72	264	305	-	688
	"processed organic food*" OR "organic food* processing"	6	24	17	-	
Batata Processada	("processed potato*" OR "industrial potato*") AND Quality	28	65	85	-	178
Escurecimento enzimático	"enzymatic browning" AND potato*	46	175	177	-	398
Escurecimento Não enzimático	"non-enzymatic browning" AND ("Maillard reaction*" OR "Maillard product*") AND (potato* OR food*)	13	84	80	-	177
Metabissulfito de sódio (MBS)	("sodium metabisulfite" OR "sodium metabisulphite") AND (Potato* OR health OR environment)	21	135	100	110	366
Cisteína	Cysteine AND (inhibition OR inhibitor) AND (enzymatic browning OR non-enzymatic browning)	27	87	105	-	219
Glicina Betaína	"Glycine betaine" AND (inhibition OR inhibitor) AND (enzymatic browning OR non-enzymatic browning)	153	47	144	-	344

Fonte: autoria própria (2022)

Etapa 4 - Procedimentos de filtragem.

Em ambos os tópicos foram adotados os mesmos procedimentos de filtragem para os resultados brutos da busca sistemática, visando refinar o portfólio final de artigos a serem considerados para revisão de literatura.

O primeiro método de filtragem aplicado foi a eliminação de duplicatas, realizado com o auxílio do gerenciador de referências Mendeley. Posteriormente efetuou-se a leitura dos títulos dos artigos, eliminando-se aqueles não relacionados ao tema. Nos artigos restantes realizou-se a leitura dos resumos, executando outra rodada de eliminação.

É importante mencionar que as bases de dados utilizadas não apresentavam filtros padronizados para a busca de artigos, desta forma, muitos artigos retornados não estavam alinhados com a intenção de pesquisa, gerando grande número de eliminações. A Tabela 30 mostra os procedimentos de filtragem utilizados com as respectivas quantidades de artigos eliminados para cada tópico da revisão de literatura.

Tabela 30 - Procedimentos de filtragem adotados no portfólio bibliográfico

Revisão de Literatura Tópicos	Procedimentos de filtragem			Total excluídos	Portfólio Final
	Artigos duplicados	Eliminados pelo título	Eliminados pelo resumo		
Alimentos orgânicos	295	296	66	657	31
Batata Processada	65	58	35	158	20
Escurecimento enzimático	170	159	42	371	27
Escurecimento Não enzimático	51	64	38	153	24
Metabissulfito de sódio (MBS)	116	168	54	338	28
Cisteína	89	82	23	194	25
Glicina Betaína	8	218	97	323	21

Fonte: autoria própria (2022)

Para complementar o portfólio final de bibliografia acrescentou-se para o tópico batata processada um capítulo de livro, para o tópico escurecimento enzimático três capítulos de livros, para o tópico escurecimento não enzimático um livro e um capítulo de livro, para o tópico metabissulfito de sódio (MBS) um livro e dois capítulos de livro e para o tópico cisteína um livro e um capítulo de livro.

Etapa 5 - Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações para classificação dos artigos utilizando o *InOrdinatio*.

Nesta etapa os artigos referentes a cada tópico foram organizados separadamente em uma planilha eletrônica, para cada um deles buscou-se o fator de impacto, o número de citações e o ano de publicação. Posteriormente aplicou-se a equação *InOrdinatio* (Equação 8), a partir da qual os artigos foram classificados do maior para o menor.

$$InOrdinatio = \left(\frac{Fi}{1000} \right) + \alpha * [10 - (AnoPesq - AnoPub)] + \Sigma Ci \quad (8)$$

Onde:

Fi= fator de impacto do último ano;

α = coeficiente de importância que o pesquisador atribui ao ano de publicação (1 a 10);

AnoPesq= ano em que a pesquisa está sendo realizada;

AnoPub= ano em que o artigo foi publicado;

ΣCi = total de citações do artigo.

Tabela 31 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Alimentos Orgânicos pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	<i>InOrdinatio</i>
1	Soil fertility and biodiversity in organic farming	47,728	2002	3503	3453
2	Attitudes towards organic foods among Swedish consumers	2,518	2001	1129	1074
3	Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses	3,718	2014	682	692
4	Organic food: Nutritious food or food for thought? A review of the evidence	3,833	2003	433	388
5	You taste what you see: Do organic labels bias taste perceptions?	5,565	2013	369	374
6	Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems	5,567	2018	118	148
7	How important is country-of-origin for organic food consumers? A review of the literature and suggestions for future research	2,518	2017	121	146
8	The nutritional and toxicological value of organic vegetables Consumer perception versus scientific evidence	2,518	2009	158	143
9	Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping	5,565	2019	81	116
10	Lost in processing? Perceived healthfulness, taste and caloric content of whole and processed organic food	3,868	2017	86	111

11	Impact of seven years of organic farming on soil and produce quality and crop yields in eastern Himalayas, India	5,567	2017	51	76
12	Influence of organic labels on consumer's flavor perception and emotional profiling: Comparison between a central location test and home-use-test	6,475	2019	28	63
13	Mineral and centesimal composition evaluation of conventional and organic cultivars sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam) using chemometric tools	7,514	2019	24	59
14	Commercial crop yields reveal strengths and weaknesses for organic agriculture in the United States	3,240	2016	36	56
15	Effect of farming systems on the yield, quality parameters and sensory properties of conventionally and organically grown potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) tubers	7,514	2014	42	52
16	Chemical properties of soil in four-field crop rotations under organic and conventional farming systems	3,417	2020	9	49
17	The influence of organic production on food quality—research findings, gaps and future challenges	3,693	2014	36	46
18	Characteristics of Organically Grown Compared to Conventionally Grown Potato and the Processed Products: A Review	3,251	2021	1	46
19	Evaluation of technological, economic and social indicators of different farming practices in Lithuania	0,780	2017	21	46
20	Organic fertilizers mineralization and their effect on the potato " <i>Solanum tuberosum</i> " performance in organic farming	9,500	2021	0	45
21	Consumer perspectives on processing technologies for organic food	4,350	2021	0	45
22	Not all organic food is created equal: the role of product type, perceived authenticity, and construal level	4,600	2019	4	39
23	Organic food processing: a framework for concept, starting definitions and evaluation	3,693	2014	27	37
24	Acceptance of Innovation and Pathways to Transition Towards More Sustainable Food Systems	2,070	2017	5	30
25	Variation of nitrogenous components in potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) tubers	5,124	2013	24	29

	produced under organic and conventional crop management				
26	Effect of localities and organic fertilizers on yield in conditions of organic farming	0,900	2017	3	28
27	Influence of long-term organic nutrient management on soil quality and crop productivity in rice (<i>Oryza sativa</i>)–potato (<i>Solanum tuberosum</i>)–okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>) cropping system under irrigated condition	0,500	2017	3	28
28	Quality and safety aspects of organic and low-input food processing: Results of a Delphi survey from an expert consultation in 13 European countries	4,169	2011	17	12
29	Research of plant production and quality on different farming systems	0,435	2014	1	11
30	Food processing: Barriers to, or opportunities for, organic foods in the catering sector?	2,518	2008	24	4
31	Potato cultivars for organic production systems	0,845	2011	6	1

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Tabela 32 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Batata Processada pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	InOrdinatio
1	Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (<i>Trachurus trachurus</i>): Effect on lipid and protein oxidation	7,514	2012	173	173
2	Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging	5,537	2005	204	169
3	Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents	3,167	1997	213	138
4	Shelf life of minimally processed potatoes: Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning	5,537	2006	151	121
5	Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color	4,556	2009	125	110
6	Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health	11,176	2018	69	99
7	Potato processing for the consumer: developments and future challenges	2,07	2008	99	79

8	Establishment of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from industrial potato by-products using response surface methodology	7,514	2018	47	77
9	The potato and its contribution to the human diet and health	-	2020	20	60
10	Inhibition of enzymatic browning of fresh-cut potato by immersion in citric acid is not solely due to pH reduction of the solution	2,19	2017	33	58
11	Opportunities and challenges in sustainable agri-food systems.	2,07	2021	1	46
12	Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphite	3,713	2010	54	44
13	The effect of ultraviolet treatment on enzymatic activity and total phenolic content of minimally processed potato slices	2,701	2016	24	44
14	Process standardization and storability of calcium fortified potato chips through vacuum impregnation	2,701	2018	11	41
15	Progress and successes of the specialty crop research initiative on acrylamide reduction in processed potato products	1,697	2018	7	37
16	Evaluation of food conservation technologies for potato cubes	2,07	2018	3	33
17	Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes	5,537	2017	7	32
18	Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O ₂ /CO ₂	5,537	2008	48	28
19	Hot water treatment and pre-processing storage reduce browning development in fresh-cut potato slices	1,455	2011	23	18
20	Hitting the jackpot and the health agenda: the case of processed potato products	0,27	2014	3	13
21	Effect of preservative agents on the respiration rate of minimally processed potato (<i>Solanum tuberosum</i> cv. Monalisa)	3,167	2008	25	5

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Tabela 33 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Escurecimento Enzimático pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	InOrdinatio
1	Polyphenol oxidases in plants	4,072	1979	1824	1659
2	An updated review of tyrosinase inhibitors.	5,924	2009	1429	1414
3	The biochemistry and control of enzymatic browning	12,563	1995	1050	965
4	Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables	5,537	2008	971	951
5	Enzymatic browning	-	2013	813	818
6	Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review	5,279	1997	752	677
7	Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control	6,478	2008	371	351
8	Browning: Enzymatic browning	-	2016	286	306
9	Flavonols from <i>Heterotheca inuloides</i> : tyrosinase inhibitory activity and structural criteria	3,641	2000	358	298
10	Inhibition mechanism of kojic acid on polyphenol oxidase	5,279	1991	363	258
11	Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes	5,279	2002	291	241
12	Recent advances in chemistry of enzymatic browning.	-	1995	276	191
13	Cysteine as an inhibitor of enzymic browning. 2. Kinetic studies	5,279	1992	256	156
14	Chlorogenic acid content of fresh and processed potatoes determined by ultraviolet spectrophotometry	5,279	1992	211	111
15	The role of various amino acids in enzymatic browning process in potato tubers and identifying the browning products	7,514	2016	76	96
16	Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree	7,514	2016	72	92
17	Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions	4,952	2003	133	88
18	Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes	5,537	2007	98	73
19	Tyrosine and cysteine are substrates for blackspot synthesis in potato	4,072	1998	141	71

20	Cod peptides inhibit browning in fresh-cut potato slices: A potential anti-browning agent of random peptides for regulating food properties	5,537	2018	31	61
21	Swertiajaponin as an anti-browning and antioxidant flavonoid	7,514	2018	28	58
22	Xanthone-related compounds as an anti-browning and antioxidant food additive	7,514	2019	21	56
23	Effect of gamma irradiation on the extraction yield, antioxidant, and antityrosinase activities of pistachio green hull extract	2,858	2018	22	52
24	Exogenous isoleucine can confer browning resistance on fresh-cut potato by suppressing polyphenol oxidase activity and improving the antioxidant capacity	5,537	2022		50
25	Effect of exogenous γ -aminobutyric acid treatment on the enzymatic browning of fresh-cut potato during storage	2,701	2018	19	49
26	Effect of papaya peel extract on browning inhibition in vegetable and fruit slices	0,875	2017	1	26
27	The effectiveness of ozone and acidulant treatments in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes	3,167	2011	28	23
28	Enzymatic browning and softening in vegetable crops: studies and experiences	0,875	2009	27	12
29	Polyphenol oxidase activity and colour changes of peeled potato (cv. Monalisa) in vacuum	0,100	2011	8	3
30	Production of protocatechualdehyde using tyrosinase purified from potato	1,842	2012	1	1

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Tabela 34 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Escurecimento Não Enzimático pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	<i>InOrdinatio</i>
1	Dehydrated foods, chemistry of browning reactions in model systems	5,279	1953	2564	2269
2	A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling	12,563	2000	1400	1340
3	Food browning and its prevention: an overview	5,279	1996	1325	1245
4	Fennema's Food Chemistry	-	2008	1138	1118

5	New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body	21,700	1990	903	793
6	Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies	4,952	2011	708	703
7	Nutritional and toxicological aspects of the Maillard browning reaction in foods	11,176	1989	609	494
8	Browning development in bakery products	5,354	2010	319	309
9	Functional properties of melanoidins: In vitro antioxidant, antimicrobial and antihypertensive activities	6,475	2007	253	228
10	Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity	7,514	2008	242	222
11	Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies	6,475	2009	191	176
12	Antioxidant activity of sugar-lysine Maillard reaction products in cell free and cell culture systems	4,013	2004	210	170
13	The effect of sugar, amino acid, metal ion, and NaCl on model Maillard reaction under pH control	3,520	2004	207	167
14	The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems	7,514	2019	110	145
15	Insights into the chemistry of non-enzymatic browning reactions in different ribose-amino acid model systems	4,380	2018	42	72
16	New functionalities of Maillard reaction products as emulsifiers and encapsulating agents, and the processing parameters: a brief review	3,639	2017	33	58
17	Role of Reactive Carbonyl Species in non-enzymatic browning of apple juice during storage	7,514	2018	25	55
18	Non-enzymatic browning reaction of glucosamine at mild conditions: Relationship between colour formation, radical scavenging activity and α -dicarbonyl compounds production.	7,514	2016	32	52
19	Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in reconstituted potato chips during frying	2,701	2014	38	48
20	The Maillard reaction and food quality deterioration		2010	56	46
21	The colorants, antioxidants, and toxicants from nonenzymatic browning	5,396	2015	30	45

	reactions and the impacts of dietary polyphenols on their thermal formation				
22	Quality assessment and multivariate calibration of 5-hydroxymethylfurfural during a concentration process for clarified apple juice	5,548	2019	7	42
23	Evaluation of 5-hydroxymethylfurfural content in non-alcoholic drinks	2,998	2018	10	40
24	Non-enzymatic browning kinetics analysed through water–solids interactions and water mobility in dehydrated potato	7,514	2008	56	36
25	Effect of pH and whey protein isolate to glucose ratios on the formation of Maillard reaction products as antioxidants	2,000	2014	5	15
26	Amino phospholipids and lecithins as mitigating agents for acrylamide in asparagine/glucose and asparagine/2, 4-decadienal model systems	7,514	2011	12	7

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Tabela 35 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Metabissulfito de Sódio (MBS) pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	<i>InOrdinatio</i>
1	Fennema's Food Chemistry	-	2008	1138	1118
2	Sulfites in Foods: uses, analytical methods, residues, fate, exposure assessment, metabolism, toxicity, and hypersensitivity	-	1986	513	383
3	Clinical effects of sulphite additives	5,018	2009	358	343
4	A comparative study of polyphenoloxidases from taro (<i>Colocasia esculenta</i>) and potato (<i>Solanum tuberosum</i> var. Romano).	7,514	1999	320	255
5	A review of sulphites in foods: analytical methodology and reported findings	3,057	1990	226	116
6	The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits.	1,4	1998	180	110
7	Characterization of polyphenol oxidase from Cape gooseberry (<i>Physalis peruviana</i> L.) fruit.	7,514	2016	87	107
8	Purification and characterisation of polyphenol oxidase (PPO) from eggplant (<i>Solanum melongena</i>)	7,514	2012	101	101
9	Allergic contact dermatitis caused by sodium metabisulfite: a challenging allergen. A case series and literature review	6,6	2012	93	93

10	Cytogenetic damage induced in human lymphocytes by sodium bisulfite	2,107	1992	190	90
11	Effect of salt compounds on mycelial growth, sporulation and spore germination of various potato pathogens	5,537	2004	129	89
12	Base damage within single-strand DNA underlies in vivo hypermutability induced by a ubiquitous environmental agent	5,917	2012	77	77
13	Hypersensitivity reactions to food and drug additives: problem or myth?	1,8	2019	15	50
14	Long-term anaerobic conservation of fruit and vegetable discards without or with moisture adjustment after aerobic preservation with sodium metabisulfite	7,145	2019	14	49
15	Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite	6,789	2018	16	46
16	Sodium metabisulfite hypersensitivity in urticaria	0,33	2021	0	45
17	Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphite	3,713	2010	54	44
18	Sulfite oxidase activity of cytochrome c: role of hydrogen peroxide	4,6	2016	22	42
19	Protective effect of vitamin E and vitamin C alone and in combination on testicular damage induced by sodium metabisulphite in rats: A stereological study	2,775	2019	4	39
20	Systemic allergic dermatitis caused by sodium metabisulfite in rectal enemas	6,6	2018	7	37
21	Using curcumin to prevent structural impairments of testicles in rats induced by sodium metabisulfite	4,068	2017	12	37
22	Postharvest application of organic and inorganic salts to control potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) storage soft rot: plant tissue–salt physicochemical interactions	5,279	2014	26	36
23	Assessment of the abiotic and biotic effects of sodium metabisulphite pulses discharged from desalination plant chemical treatments on seagrass (<i>Cymodocea nodosa</i>) habitats in the Canary Islands	5,553	2014	25	35
24	Potentiation of sodium metabisulfite toxicity by propylene glycol in both in vitro and in vivo systems	5,811	2018	4	34

25	Antifungal activity of sulfur-containing salts against the development of carrot cavity spot and potato dry rot	5,537	2012	29	29
26	Sodium metabisulphite allergy with multiple food and drug hypersensitivities in a five-year-old child: a case report and literature review	1,667	2015	9	24
27	Environmental mutagenicity and toxicity caused by sodium metabisulfite in sea shrimp harvesting in Piauí, Brazil	7,086	2011	21	16
28	Additives and preservatives	-	2015	1	16
29	Role of lipid composition and lipid peroxidation in the sensitivity of fungal plant pathogens to aluminum chloride and sodium metabisulfite	4,792	2007	39	14
30	Characterization of polyphenol oxidase from rooster potato (<i>Solanum tuberosum</i> cv rooster)	2,72	2010	21	11
31	Effect of preservative agents on the respiration rate of minimally processed potato (<i>Solanum tuberosum</i> cv. Monalisa)	3,167	2008	25	5

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Tabela 36 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Cisteína pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	<i>InOrdinatio</i>
1	Food browning and its prevention: an overview	5,279	1996	1325	1245
2	Fennema's Food Chemistry	-	2008	1138	1118
3	Enzymatic browning reactions in apple and apple products	11,176	1994	789	699
4	Cysteine as an inhibitor of enzymic browning. 2. Kinetic studies	5,279	1992	256	156
5	The electrochemistry of L-cystine and L-cysteine: Part 1: Thermodynamic and kinetic studies	4,464	1994	245	155
6	The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems	7,514	2019	110	145
7	Improvement in the safety of foods by sulfhydryl-containing amino acids and peptides. A review	5,279	1994	222	132
8	Browning inhibition mechanisms by cysteine, ascorbic acid and citric acid, and identifying PPO-catechol-cysteine reaction products	2,701	2015	105	120
9	Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality	2,701	2014	93	103

10	Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables: a review of principles and practice	-	1995	183	98
11	The role of various amino acids in enzymatic browning process in potato tubers, and identifying the browning products	7,514	2016	76	96
12	Sulphur-containing amino acids: protective role against free radicals and heavy metals	4,530	2018	54	84
13	Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes	5,537	2007	98	73
14	Insights into the chemistry of non-enzymatic browning reactions in different ribose-amino acid model systems	4,380	2018	42	72
15	Full inhibition of Whangkeumbae pear polyphenol oxidase enzymatic browning reaction by L-cysteine	7,514	2018	34	64
16	Thiol containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products	6,475	2006	87	57
17	Heating and cysteine effect on physicochemical and flavor properties of soybean peptide Maillard reaction products	6,953	2018	22	52
18	Contribution of sulfur-containing compounds to the colour-inhibiting effect and improved antioxidant activity of Maillard reaction products of soybean protein hydrolysates	3,639	2011	55	50
19	Postharvest application of thiol compounds affects surface browning and antioxidant activity of fresh-cut potatoes	2,720	2020	7	47
20	Cysteine conformations revisited	3,196	2007	70	45
21	Postharvest application of antibrowning chemicals modulates oxidative stress and delays pericarp browning of controlled atmosphere stored litchi fruit	2,720	2019	10	45
22	Fogging with antibrowning agents as an alternative to conventional immersion treatments to extend shelf life of mushrooms	3,713	2020	0	40
23	Changes in ascorbic acid and total phenolics contents associated with browning inhibition of pineapple slices	1,718	2019	2	37
24	Browning intensity and taste change analysis of chicken protein–sugar Maillard reaction system with	2,190	2017	11	36

	antioxidants and different drying processes				
25	Studies on browning inhibition technology and mechanisms of fresh-cut potato	2,190	2017	11	36
26	Optimization of additive combination based on l-cysteine for inhibition of nonenzymatic browning in cooked rice during storage	2,190	2015	6	21
27	Study of Maillard reaction inhibitors for the sugar cane processing	0,237	2012	11	11

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Tabela 37 - Resultado da seleção de artigos para o tópico Glicina Betaína pelo *Methodi Ordinatio*

Ranking	Título do artigo	Fator de Impacto	Ano	citações	<i>InOrdinatio</i>
1	Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance	5,545	2007	4504	4479
2	Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes	7,834	2002	1056	1006
3	The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants	7,228	2002	904	854
4	Betaines and related osmoprotectants. Targets for metabolic engineering of stress resistance	8,340	1999	535	470
5	The peptide backbone plays a dominant role in protein stabilization by naturally occurring osmolytes	3,163	1995	554	469
6	Genetic engineering of glycine betaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance	6,992	2000	508	448
7	Improved tolerance to various abiotic stresses in transgenic sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i>) expressing spinach betaine aldehyde dehydrogenase	3,240	2012	194	194
8	Antioxidant mechanism of betaine without free radical scavenging ability	5,279	2016	80	100
9	Enhancing antioxidant–yield relationship of pea plant under drought at different growth stages by exogenously applied glycine betaine and proline	3,400	2015	85	100
10	Glycine betaine: a versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses	2,010	2013	94	99

11	Exogenous glycine betaine treatment enhances chilling tolerance of peach fruit during cold storage	5,537	2016	74	94
12	The exclusion of glycine betaine from anionic biopolymer surface: why glycine betaine is an effective osmoprotectant but also a compatible solute	3,163	2004	116	76
13	Accumulation of glycine betaine in transplastomic potato plants expressing choline oxidase confers improved drought tolerance	4,116	2019	35	70
14	Exogenous glycine betaine treatment alleviates low temperature-induced pericarp browning of 'Nanguo'pears by regulating antioxidant enzymes and proline metabolism	7,514	2020	29	69
15	Glycine betaine application modifies biochemical attributes of osmotic adjustment in drought stressed wheat	3,412	2014	50	60
16	Foliar application of glycinebetaine regulates soluble sugars and modulates physiological adaptations in sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i>) under water deficit	3,356	2020	9	49
17	Hydration and ion-binding of glycine betaine: how they may be involved into protection of proteins under abiotic stresses	6,165	2017	22	47
18	Enhanced tolerance of transgenic potato plants expressing choline oxidase in chloroplasts against water stress	2,787	2013	41	46
19	Glycine betaine alleviated peel browning in cold-stored 'Nanguo'pears during shelf life by regulating phenylpropanoid and soluble sugar metabolisms	3,463	2020	5	45
20	Endogenous accumulation of glycine betaine confers improved low temperature resistance on transplastomic potato plants	3,101	2020	1	41
21	Enhanced drought and oxidative stress tolerance in transgenic sweet potato expressing a codA gene	1,000	2015	6	21

Fonte: adaptado de PAGANI; KOVALESKI; RESENDE (2015)

Etapa 6 – Leitura sistemática e análise dos artigos.

Nesta etapa, o pesquisador tem autonomia para identificar quantos artigos serão inclusos em sua revisão de literatura, uma vez que os trabalhos já estão classificados por ordem de relevância. Para a revisão de literatura descrita nesse

trabalho todos os artigos selecionados foram inclusos, tendo em vista que nenhum apresentou *InOrdinatio* negativo.