

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 22/11/2022.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



MARLA SÍLVIA DIAMANTE

**BENEFÍCIOS DO PROCESSAMENTO TÉRMICO NA COMPOSIÇÃO
FITOQUÍMICA DE COUVES-FLORES COLORIDAS**

Botucatu

2019

MARLA SÍLVIA DIAMANTE

**BENEFÍCIOS DO PROCESSAMENTO TÉRMICO NA COMPOSIÇÃO
FITOQUÍMICA DE COUVES-FLORES COLORIDAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutora em
Agronomia (Horticultura).

Orientadora: Prof^a Dr^a Giuseppina P. P. Lima
Coorientador: Prof. Dr. Igor Otávio Minatel

Botucatu

2019

D537b

Diamante, Marla Sílvia

Benefícios do processamento térmico na composição
fitoquímica de couves-flores coloridas / Marla Sílvia Diamante.

-- Botucatu, 2019

99 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Giuseppina Pace Pereira Lima

Coorientador: Igor Otávio Minatel

1. Fisiologia pós-colheita. 2. Compostos bioativos. 3.
Hortaliças. 4. Processamento térmico. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

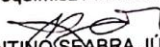
Título: "BENEFÍCIOS DO PROCESSAMENTO TÉRMICO NA COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA DE
COUVES-FLORES COLORIDAS"

AUTORA: MARLA SILVIA DIAMANTE

ORIENTADORA: GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dr.ª GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA
Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. SANTINO SEABRA JÚNIOR
Agronomia / Universidade do Estado do Mato Grosso


Prof.ª Dr.ª CAMILA RENATA CORREA CAMACHO
Unidade de Pesquisa Experimental / Faculdade de Medicina de Botucatu - Unesp


Prof.ª Dr.ª MÔNICA BARTIRA DA SILVA
Agronomia / Universidade Estadual de Mato Grosso


Prof.ª Dr.ª ANA PAULA PRECZENHAK
Pós-Doutoranda - Ciências Biológicas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Botucatu, 20 de novembro de 2019.

A minha mãe, Rosângela, pelos ensinamentos, cuidados e carinho.

Em memória de meu pai, Maurício, por sua honestidade,
sabedoria e força.

A eles todo meu amor e admiração, **Dedico.**

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sua infinita bondade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Horticultura), pela oportunidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

À querida Prof.^a Dr.^a Giuseppina Pace Pereira Lima, pela orientação, dedicação à pesquisa, humildade e principalmente por sua paciência, toda minha gratidão e admiração.

Ao Prof. Dr. Igor Otávio Minatel pela dedicação a este trabalho, auxílio, ensinamentos e amizade.

Ao colega Luís Felipe Baldini e família, bem como aos funcionários do Sítio Janeiro, responsáveis pela produção das couves-flores.

À Prof.^a Dr.^a Camila Renata Correa (UNIPEX/Unesp – Botucatu), ao Prof. Dr. Angelo Pedro Jacomino (ESALQ/USP- Piracicaba) e à querida Carla (Laboratório de Nutrição – Unesp/Botucatu), por permitirem o uso dos respectivos laboratórios, pelo auxílio e parceria.

Aos funcionários e amigos do Departamento de Química e Bioquímica do IBB (UNESP), por todo auxílio dedicado.

Aos amigos do LQBV (IBB/UNESP), agradeço por toda ajuda e por me suportarem por todos estes anos! Obrigada por tudo, pessoal!

Mais uma vez aos meus pais, Rosângela e Maurílio (em memória), por tudo que fizeram por mim, não deixando que nada me faltasse.

À minha família, pelo exemplo de simplicidade e união.

À Marília Caixeta, por compartilhar a casa e 24 horas do seu dia comigo! Obrigada por tudo!

Aos meus amigos, todos, sem exceção! Não deixarei escrito aqui nomes, para não cometer o erro de esquecer de alguém. Obrigada pelas risadas, apoio e companhia!

RESUMO

O cozimento além de facilitar a digestibilidade e a palatabilidade dos vegetais, pode alterar a biodisponibilidade de micronutrientes. As couves-flores são normalmente consumidas após processamento térmico e apresentam níveis elevados de compostos bioativos que influenciam na saúde humana, especialmente na prevenção as doenças crônicas. Estes compostos possuem atividade antioxidante que confere proteção e auxilia o organismo humano a eliminar os radicais livres, componentes centrais das regulações metabólicas induzidas por doenças crônicas. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tempo e tipo de cozimento (fervura, vapor e micro-ondas) sobre as características bioquímicas de quatro genótipos de couve-flor colorida ('Verde di Macerata', 'Cheddar', 'Forata' e 'Graffiti'). Em um primeiro momento, foi determinado o perfil físico-químico das couves-flores coloridas. Os floretes foram submetidos aos tratamentos térmicos por 5 e 10 min e após foram realizadas as análises físico-químicas. O processamento em ebulição resultou em perdas significativas de sólidos solúveis totais e carboidratos solúveis totais, diferentemente dos métodos onde foram utilizadas menores quantidades de água para o processamento das inflorescências (i.e., micro-ondas e vapor). Os métodos a vapor e micro-ondas resultaram em valores superiores de sólidos solúveis, independente do genótipo analisado. O cozimento dos floretes em ebulição reduziu significativamente os teores da maioria dos compostos químicos analisados (acidez titulável, sólidos solúveis e carboidratos solúveis totais). No segundo experimento foi avaliado, por cromatografia líquida, o conteúdo dos aminoácidos triptofano e 5-hidroxitriptofano e de aminas biogênicas, para cálculo posterior do *Chemical Quality Index* – CQI. Os resultados demonstraram que o processamento térmico e os tempos de cocção influenciaram no conteúdo das aminas biogênicas e dos aminoácidos estudados. A coloração dos vegetais também afeta o conteúdo destas substâncias, pois foram verificados níveis menores dos aminoácidos e das aminas biogênicas na couve-flor roxa, quando comparada as demais. A couve-flor branca apresentou os maiores níveis de histamina, substância conhecida por seu efeito alergênico. O cozimento afetou positivamente no CQI das couves-flores, com redução no índice quando comparado as inflorescências cruas. O conteúdo de carotenoides, provitaminicos A (pVACs), equivalente de atividade de retinol (RAE) e α e γ -tocoferol

em couves-flores coloridas, bem como o efeito do cozimento na coloração das inflorescências coloridas também foram avaliados em diferentes tempos de preparo (5, 10 e 20 min), em um terceiro experimento. Nosso estudo mostrou que o processamento térmico promoveu aumento nos teores dos compostos antioxidantes analisados (carotenoides e pVACs), independente do genótipo, quando comparados com o material cru e, alterou níveis de tocoferol e os atributos de cor da hortaliça em relação ao material cru. Os maiores teores de zeaxantina e luteína foram verificados na 'Verde di Macerata'. A couve-flor 'Cheddar' apresentou os maiores conteúdos de todos os carotenoides, e quando cozidas em vapor por 20 minutos observou-se o maior teor de pVACs e RAE. Incrementos no conteúdo de pVACs, RAE e Σ carotenoides foram observados em 'Forata' e 'Graffiti'. Independente do genótipo analisado, o cozimento por 20 minutos, seja em ebulição, ou em vapor, induziu aumento dos níveis de α e γ - tocoferol nas inflorescências. O conteúdo de clorofila, em 'Verde di macerata' aumentou em função do cozimento. O processamento térmico não aumentou os níveis de antocianinas na 'Graffiti', com relação ao material cru. 'Verde di Macerata' e Cheddar', apesar de pouco consumidas, podem ser boas fontes de carotenoides, provitaminicos A e tocoferol. Os cozimentos não afetaram negativamente o aspecto visual das couves-flores.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *botrytis*. Cozimento. Aminas biogênicas. Atividade antioxidante.

ABSTRACT

The cooking process, besides facilitating the digestibility and palatability of vegetables, can alter the bioavailability of micronutrients. The cauliflowers are usually consumed after a thermal process and present high levels of bioactive compounds that positively affect the human health, particularly in chronic disease prevention. The compounds possess antioxidant activity that provides protection and assists the human organism in eliminating free radicals, central compounds in metabolic regulations induced by chronic diseases. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of time and cooking procedure (boiling, steaming and microwaving) over the biochemical characteristics of four genotypes of colored cauliflowers ('Verde di Macerata', 'Cheddar', 'Forata' e 'Gradffiti'). Firstly, the physicochemical profile of the colored cauliflowers was determined. The cauliflowers were subjected to the thermal processes for 5 and 10 minutes and physicochemical analysis were performed. The boiling process resulted in significant losses of total soluble solids and total soluble carbohydrates, unlike the methods where smaller amounts of water were used for processing the inflorescences (i.e., microwaving and steaming). The steaming and microwaving methods resulted in superior values of soluble solids, independently of the analyzed genotype. The cooking of the inflorescences by boiling reduced significantly the contents of the majority of the analyzed chemical compounds (titratable acidity, soluble solids and total soluble carbohydrates). In the second experiment, done by liquid-chromatography, the contents of the amino acids tryptophan and 5-hydroxytryptophan and the biogenic amines, for later evaluation of the Chemical Quality Index – CQI. The results showed that the thermal processing and the cooking times affected the contents of the studied biogenic amines and the amino acids. The coloring of the vegetables also has an effect in the content of these substances, because lower levels of amino acids and biogenic amines were found in the purple cauliflowers, when compared to the others. The white cauliflower, presented the highest levels of histamine, substance known for its allergenic effect. The cooking procedure positively affected the CQI of the cauliflowers, with the reduction of the index when compared to the raw inflorescences. The contents of carotenoids, provitamin-A (pVACs), equivalente de atividade de retinol (RAE), α and γ -tocoferols of the colored cauliflowers, as well as the effect of the cooking procedure in the coloring of the

different inflorescences were evaluated under different preparation times (5, 10 and 20 minutes). Our study showed that thermal processing promoted an increase in the levels of the antioxidant compounds analyzed (carotenoids and pVACs), regardless of genotype, when compared with the raw material and altered tocopherol levels and the color attributes of the vegetables in relation to the raw material. The highest levels of zeaxanthin and lutein were found in Verde di Macerata. Cauliflower 'Cheddar' had the highest contents of all carotenoids, and when steamed for 20 minutes the highest pVACs and RAE content was observed. Increases in pVACs, RAE and 'carotenoids' content were observed in 'Forata' and 'Graffiti'. Regardless of the genotype analyzed, boiling for 20 minutes, either boiling or steaming, induced an increase in α and γ -tocopherol levels in inflorescences. Chlorophyll content in 'Verde di macerata' increased as a function of cooking. Thermal processing did not increase anthocyanin levels in Graffiti relative to raw material. 'Verde di Macerata' and Cheddar ', although little consumed, can be good sources of carotenoids, provitamins A and tocopherol. The cooking did not negatively affect the visual appearance of cauliflowers.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *botrytis*. Cooking. Biogenic amines. Antioxidant Activity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1 - Perfil físico-químico de couves-flores coloridas antes e após processamento térmico	21
RESUMO	21
ABSTRACT	22
1.1 INTRODUÇÃO	23
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
1.4 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 2 – Bioactive amines screening in four genotypes of termally processed cauliflower.....	37
ABSTRACT.....	37
2.1 INTRODUCTION.....	38
2.2 MATERIALS AND METHODS.....	40
2.2.1 Plant Material	40
2.2.2 Biogenic Amine Analysis by HPLC	41
2.2.3 Chemical Quality Index - CQI	42
2.2.4 Statistical Analysis.....	42
2.3 RESULTS AND DISCUSSION	42
2.4 CONCLUSIONS	55
REFERENCES	56
CAPÍTULO 3 – Efeito do cozimento doméstico no perfil de carotenoides em couves-flores coloridas	60
RESUMO	60
ABSTRACT.....	61
3.1 INTRODUÇÃO	62
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	64
3.2.1 Material Vegetal	64
3.2.2 Processamento térmico.....	66
3.2.3 Cor.....	66
3.2.4 Identificação e Quantificação dos carotenoides e tocoferóis via CLAE	66

3.2.4.1	Processo de extração saponificada	66
3.2.4.2	Análise de carotenoides e tocoferóis por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)	67
3.2.5	Determinação da Equivalente de Atividade de Retinol (RAE)	67
3.2.6	Determinação das Clorofilas totais	68
3.2.7	Extração e análise das Antocianinas Totais na couve-flor ‘Graffiti’	68
3.2.8	Determinação da capacidade antioxidante por ABTS.....	69
3.2.9	Análise Estatística.....	69
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.3.1	Impacto dos genótipos e do processamento térmico no teor de carotenoides	69
3.3.2	Impacto dos genótipos e do processamento térmico no teor de tocoferol	78
3.3.3	Impacto de genótipos e processamento térmico nas clorofilas e antocianinas	82
3.3.4	Impacto de genótipos e processamento térmico nos atributos de cor	83
3.4	CONCLUSÕES.....	87
	REFERÊNCIAS.....	88
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE A – Tabelas de correlação.....	99

INTRODUÇÃO GERAL

A couve-flor pertencente à família das Brássicas, possui como característica principal a formação de uma inflorescência central e, por apresentar um elevado rendimento comercial, sua importância econômica no Brasil está ligada especialmente a pequenos produtores.

Vegetais pertencentes a família Brassicaceae, são conhecidos por sua elevada capacidade antioxidante, fonte de vitaminas e compostos bioativos que contribuem para uma dieta saudável e equilibrada (GUILLÉN et al., 2017; GUZMÁN et al., 2012). Estas propriedades nutricionais, bem como a facilidade no preparo, são aspectos visados pelos consumidores que buscam produtos vegetais de alta qualidade nutricional e sensorial (MARTINÉZ-HERNANDEZ et al., 2013). A aparência é um dos atributos de qualidade sensorial mais importantes nos alimentos, tanto frescos como processados (PATHARE et al., 2012; COSTA et al., 2011; GROSSMAN & WISENBLIT, 1999), considerada uma ferramenta de percepção do indivíduo sobre a qualidade dos alimentos, que resulta na aceitabilidade ou rejeição para o consumo (NISHA et al., 2011; PEREIRA et al., 2009; LEON et al., 2006).

A aparência visual está diretamente relacionada a cor do vegetal (PATHARE et al., 2012), que por sua vez pode estar correlacionado com outros atributos de qualidade, como fatores nutricionais (FRANCIS, 1995; KRAMER 1976) que refletem nos níveis dos antioxidantes e outros compostos bioativos.

Couves-flores brancas são geralmente as mais produzidas e consumidas e, dessa forma, as mais investigadas. O alto valor nutricional atribuído a esta hortaliça se relaciona ao seu impacto positivo na saúde humana, a redução do risco de doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares e câncer (AHMED & ALI, 2013). As inflorescências são ricas em vitaminas (vitaminas C, B1, B2 e B3), compostos fenólicos, glicosinolatos, fibras, minerais (KALISZ et al., 2018; JAHANGIR et al., 2009; PODSEDEK, 2007), carotenoides (DOS REIS et al., 2015, SHARDELL et al. 2011, PODSEDEK, 2007), tocoferóis e tocotrienóis (GUZMÁN et al., 2012; IBRAHIM & JUVIK, 2009).

Outra classe de compostos bioativos importantes encontrados em couves-flores são as aminas biogênicas (DIAMANTE et al., 2019) que, além da sua função antioxidante, estão relacionadas ainda com a regulação do ciclo celular e

desempenham papel fundamental na rota de síntese de importantes neurotransmissores (GOMEZ-GOMEZ et al., 2018).

Apesar da ampla gama de fitoquímicos encontrados em couve-flor, estas concentrações podem variar. Dessa forma, genótipos coloridos podem ser uma alternativa para diversificação do consumo de alimentos e aumento da ingestão de compostos promotores da saúde.

A pigmentação alaranjada em inflorescências de couves-flores brancas, por exemplo, foram identificadas e atribuídas a uma mutação rara no gene dos carotenoides [gene *Orange (Or)*] (CRISP et al., 1975; DICKSON et al., 1988), que conferiu acúmulo elevado de β -caroteno nos tecidos das plantas (LI et al., 2006). As couves-flores verdes se originaram a partir de uma mutação espontânea, neste caso ocorre desenvolvimento ectópico de cloroplastos em células meristemáticas da inflorescência (ZHOU et al., 2011). Enquanto que as antocianinas são os pigmentos majoritários em couves-flores de coloração roxa (CHIU et al., 2010; LO SCALZO et al., 2008).

Devido aos níveis elevados de pigmentos promotores de efeitos benéficos à saúde, esses vegetais podem ser considerados alimentos funcionais (CHIU et al., 2010). É relevante ressaltar que alimento funcional é definido pela Secretaria de Vigilância Sanitária, do Ministério da Saúde do Brasil, na Portaria nº398 da RDC (Resolução da Diretoria Colegiada) nº 18/99, como um tipo de alimento ou componente alimentar que, quando consumido como parte da dieta habitual, além das funções nutritivas básicas, é capaz de produzir efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou benéficos à saúde, sendo seguro para consumo humano sem supervisão médica (BRASIL, 1999).

Sabe-se que o consumo de couve-flor é realizado preferencialmente após o cozimento. Deste modo, análises relacionadas ao processamento térmico se tornam fundamentais para o entendimento do real valor nutricional dessa hortaliça.

Alguns estudos reportam que o cozimento pode aumentar a disponibilidade dos compostos bioativos hortaliças, retidos na matriz vegetal (BORGES et al., 2018; LIMA et al., 2017; MINATEL et al., 2017; PRETI, RAPA, VINCI, 2017; DOS REIS et al., 2015; SHAMS EL-DIN et al., 2013). Por outro lado, existe a influência do método escolhido e o tempo de cozimento para o preparo do alimento, que pode promover perdas de nutrientes, seja por processos de lixiviação, seja por destruição celular causada pela

alta temperatura e condições de meio (BORGES et al., 2018; MINATEL et al., 2017; PALERMO, PELLEGRINI, FOGLIANO, 2014).

É comum que muitos vegetais sejam cozidos por um processo simples, como em ebulição, vapor ou micro-ondas. Em ebulição, a alteração na concentração de nutrientes no material vegetal pode ocorrer por perdas por lixiviação dos compostos através da água (DOS REIS, et al., 2015), especialmente substâncias hidrossolúveis. Entretanto, para alguns compostos bioativos (carotenoides e alguns compostos fenólicos), o aquecimento em ebulição facilita a liberação (PELLEGRINI et al., 2010).

O cozimento a vapor é comumente utilizado no preparo em Brássicas, como em brócolis (RENNIE; WISE, 2009) e couve-flor. O uso do processamento a vapor tem algumas vantagens sobre a fervura. Neste caso, como a água não é usada como agente de aquecimento, algumas das propriedades do vegetal fresco são preservadas (ARRESTO, et al., 2016), o sabor é aprimorado e o tempo de cozimento pode ser mais curto (FRANCISCO et al., 2010; MIGLIO et al., 2008). O mesmo pode ser observado com o uso do micro-ondas, em geral neste tipo de cozimento se utiliza pouca ou nenhuma quantidade de água, a retenção dos nutrientes é maior, visto que possui maior capacidade, do que o vapor ou fervura, de afetar as paredes celulares dos vegetais (WACHTEL-GALOR et al., 2008) tornando disponíveis alguns fitoquímicos de difícil extração.

Além disso, as vantagens do uso do micro-ondas sobre o aquecimento convencional estão relacionadas ao tempo reduzido de processamento, alta eficiência energética e melhoria da qualidade dos alimentos (SALAZAR-GONZÁLEZ et al., 2012).

Cabe ressaltar que, o efeito do cozimento depende de vários fatores, como processamento térmico utilizado, temperatura, lixiviação no meio de cozimento, solvente usado para extração, pH e área de superfície exposta à água e oxigênio (WACHTEL-GALOR et al., 2008). Além disso, o mesmo método de cozimento pode ter efeitos diferentes em diferentes plantas, visto que os vegetais possuem vários compostos, alguns dos quais são termicamente lábeis e outros não (BERNHARDT; SCHLICH, 2006).

Durante o processamento de alimentos, alguns autores sugerem que a perda de vitamina E ou β -caroteno podem estar relacionadas a enzimas oxidativas (LESSIN et al., 1997; MURILLO, PLUMPTON, GAUNT, 1976). No entanto, não é clara a

resposta desses fitoquímicos nos alimentos quando submetidos a algum tipo de preparo antes do consumo.

Diferenças significativas são observadas em relação a coloração de hortaliças cozidas (brócolis, feijão verde e cenoura) em comparação ao vegetal cru (GUILLEN et al., 2017). Comparando diferentes matrizes vegetais (brócolis, repolho, espinafre, couve, couve-de-bruxelas, ervilha, abóbora e aspargos) após cozimento em fervura, Paciulli et al. (2017) constataram que, dentre elas, as inflorescências apresentam os maiores valores de degradação de clorofilas (90% em brócolis). Os autores ainda inferem que a taxa de degradação foi influenciada pelo tempo de tratamento, quanto maior tempo de permanência em fervura, mais evidente era a degradação (16% nas clorofilas totais após 3,5 minutos, 40% após 5 minutos e 90% após 8 minutos). Enquanto, os cozimentos em vapor e no micro-ondas apresentam menores perdas.

As moléculas de clorofila são termolábeis; portanto, quando expostas a algum tipo de processamento térmico sofrem modificações químicas e bioquímicas (RUNDRA et al., 2008). Assim como as antocianinas, compostos hidrossolúveis e apresentam esta mesma característica. Nos vegetais, este pigmento possui importante função biológica de proteção contra vários estresses bióticos e abióticos (CHIU et al., 2010; LO SCALZO et al., 2008).

O cozimento também altera os níveis de vitamina E em pimentão vermelho, cenoura e brócolis comparadas as amostras cruas, especialmente em brócolis (KNECHT et al. 2015). Resposta semelhante foi observada em espinafre por Chun et al., 2006. Modificações nos níveis de carotenoides induzidos por tratamento térmico que resultam em alterações na cor dos vegetais são relatados na literatura (AHMED, SHIVHARE, MANDEEP, 2002; TANSEY, GORMLEY, BUTLER, 2010), como por exemplo em cenouras, que além da redução dos níveis de carotenoides também apresentaram modificações em sua coloração, comparada com a dos vegetais crus.

Em brócolis, ao estimarem as alterações induzidas na atividade antioxidante das inflorescências após vários tipos de processamento (ebulição, ebulição a vácuo, vapor de baixa pressão, vapor de alta pressão, *sous vide*, micro-ondas, *sous vide*-micro-ondas, grelhado, fritura intensa e fritura intensa a vácuo), Martínez-Hernández et al. (2013) demonstraram que a capacidade antioxidante aumenta após o cozimento em todos os tratamentos, com exceção de ebulição a vácuo. Dos Reis et al. (2015) observaram em couve-flor (coloração branca), que o cozimento em micro-ondas (4 min) retém o conteúdo dos compostos fenólicos, assim como na inflorescência crua,

e quando submetidas ao cozimento a vapor por 20 min, maiores níveis de carotenoides são observados.

No estudo do efeito do cozimento em feijões verdes, por exemplo, Lima et al. (2017) verificaram que, após o processo de cozimento, os níveis de carotenoides aumentam, contudo, a atividade antioxidante (DPPH) reduz e, os cozimentos em fervura e micro-ondas induzem a liberação de clorofila. Petri, Rapa e Vinci (2017) reportam que o cozimento por fervura (10 min) reduz a capacidade antioxidante por DPPH em feijões vagem coloridos. O mesmo foi observado por Rennie e Wise, (2009), que afirmam que o processamento a vapor é o mais indicado para certos vegetais, devido a textura do alimento após tratamento térmico ser mais aceitável.

O estudo comparativo de métodos de cocção, bem como o tempo em que esse material fica exposto ao calor, podem trazer respostas consideráveis para manutenção da qualidade nutricional da couve-flor.

Assim, objetivou-se avaliar efeito do tratamento térmico por diferentes métodos e tempos de cocção (fervura, vapor e micro-ondas) no perfil bioquímico de inflorescências de couves-flores coloridas. Este trabalho pretende contribuir com informações sobre os níveis de compostos bioativos em couves-flores coloridas antes e após cozimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A couve-flor é uma das hortaliças mais consumidas no mundo, e isso se atribui ao elevado rendimento comercial da cultura. No Brasil, sua importância econômica está ligada especialmente a pequenos produtores. Além do valor comercial, esta espécie é muito apreciada na culinária, devido ao baixo valor calórico, sabor suave, e a presença de compostos promotores de saúde humana. Os genótipos mais consumidos, e geralmente produzidos, são os de coloração branca, e informações sobre cultivo de couves-flores coloridas (amarela, roxa e verde) pouco são divulgadas, ou encontradas. Além deste aspecto, poucas informações nutricionais ou sobre os benefícios da ingestão de couves-flores coloridas são publicadas.

O uso de inflorescências coloridas surge com uma alternativa na busca para a diversificação da dieta e aumento da ingestão de compostos bioativos, e buscamos neste estudo estimular ao consumo destas hortaliças por meio de evidências que comprovem a presença de nutrientes e/ou compostos biologicamente ativos nas diferentes cores. Outro ponto ponderado foi que a ingestão deste vegetal é realizado após algum tipo de processamento térmico, dessa forma foram realizadas as cocções dos materiais pensando em métodos caseiros, com diferentes tempos de exposição do vegetal ao calor, comparando assim a ação do cozimento com o vegetal cru.

Neste estudo podemos concluir que os genótipos possuem grande variabilidade em suas características bioquímicas (Capítulo 1, 2 e 3). Constatamos variação no teor dos compostos químicos, dependendo da couve-flor analisada e do processamento térmico empregado (Capítulo 1), mostrando que algumas características foram mantidas com uso de cozimento a vapor e micro-ondas, e.g. Além disso, foram observados que estes genótipos coloridos se sobressaíram aos de coloração brancas em relação a importantes fitoquímicos, como conteúdo de aminoácidos (triptofano e 5-hidroxitriptofano), aminas biogênicas, carotenoides, provitaminicos A e tocoferol (Capítulo 2 e 3), com destaque aso materiais 'Cheddar' e 'Verde di macerata' para esses compostos. Estes resultados demonstram que genótipos estudados possuem boa qualidade pós-colheita, e que o cozimento favorece o aumento dos compostos bioativos presentes nas inflorescências. Por meio destes resultados, esperamos estimular o consumo, bem como a produção dessas hortaliças, levando em consideração sua alta qualidade nutricional, assim como elucidar que o preparo para

o consumo das couves-flores deve ser levado em consideração para manutenção de suas propriedades antioxidantes.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F. A.; ALI, R. F. M. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fresh and Processed White Cauliflower. **BioMed Research International**, v. 1, p.1-9, 2013.
- AHMED, J.; SHIVHARE, U.S.; DEBNATH, S. Colour degradation and rheology of green chilli puree during thermal processing. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p.57–63, 2002.
- ARMESTO, J.; GÓMEZ-LIMIA, L.; CARBALLO, J.; MARTÍNEZ, S. Effects of different cooking methods on some chemical and sensory properties of Galega kale. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p.2071-2080, 2016.
- BERNHARDT, S.; SCHLICH, E. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p.327-333, 2006
- BORGES, C. V.; MINATEL, I. O.; AMORIM, E. P.; BELIN, M. A. F.; GOMEZ-GOMEZ, H. A.; CORREA, C. R.; LIMA, G. P. P. Ripening and cooking processes influence the carotenoid content in bananas and plantains (*Musa* spp.). **Food Research International**, v. 0, p.0, 2018.
- CHIU, L.W.; ZHOU, X.; BURKE, S.; WU, X.; PRIOR, R. L.; LI, L. The Purple Cauliflower Arises from Activation of a MYB Transcription Factor. **Plant Physiology**, v. 154, n. 3, p.1470–1480, 2010.
- CHUN, J.; LEE, J.; YE, L.; EXLER, J.; EITENMILLER, R. R. Tocopherol and tocotrienol contents of raw and processed fruits and vegetables in the United States diet. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, n. 2, p.196–204, 2006.
- COSTA, C.; ANTONUCCI, F.; PALLOTTINO, F.; AGUZZI, J.; SUN, D.; MENESATTI, P. Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 5, p.673–692, 2011.
- CRISP, P.; WALKEY, D. G. A.; BELLMAN, E.; ROBERTS, E. A mutation affecting curd colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis DC). **Euphytica**, v. 24, p.173–176, 1975.
- DIAMANTE, M. S.; BORGES, C. V.; SILVA, M. B.; MINATEL, I. O.; CORRÊA, C. R.; GOMEZ-GOMEZ, H. A.; LIMA, G. P. P. Bioactive Amines Screening in Four Genotypes of Thermally Processed Cauliflower. **Antioxidants**, v. 8, p.1-16, 2019.
- DICKSON, M. H.; LEE, C. Y.; BLAMBLE, A. E. Orange-curd high carotene cauliflower inbreds, NY 156, NY 163, and NY 165. **Hortscience**, v.23, p.778–779, 1988.
- DOS REIS, L. C. R.; DE OLIVEIRA, V. R.; HAGEN, M. E. K.; JABLONSKI, A.; FLÔRES, S. H.; DE OLIVEIRA RIOS, A. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). **LWT** -

Food Science and Technology, v. 63, n. 1, p.177–183, 2015.

FRANCIS, F. J. Quality as influenced by color. **Food Quality and Preference**, v. 6, n. 3, p.149–155, 1995.

FRANCISCO, M.; VELASCO, P.; MORENO, D. A.; GARCIA-VIGUERA, C.; CARTEA, M. E. Cooking methods of Brassica rapa affect the preservation of glucosinolates, phenolics and vitamin C. **Food Research International**, v. 43, p.1455–1463, 2010.

GOMEZ-GOMEZ, H. A.; BORGES, C. V.; MINATEL, I. O.; LUVIZON, A. C.; LIMA, G. P. P. Health Benefits of Dietary Phenolic Compounds and Biogenic Amines. **Bioactive Molecules in Food. Reference Series in Phytochemistry**, p.1–25, 2018.

GROSSMAN, R. L.; WISENBLIT, J. Z. What we know about consumers' color choices. **Journal of Marketing Practice: Applied Marketing Science**, v. 5, n. 3, p.78–88, 1999.

GUILLEN, S.; MIR-BEL, J.; ORIA, R.; SALVADOR, M. L. Influence of cooking conditions on organoleptic and health-related properties of artichokes, green beans, broccoli and carrots. **Food Chemistry**, v. 217, p.209-216, 2017.

GUZMAN, I.; YOUSEF, G. G.; BROWN, A. F. Simultaneous Extraction and Quantitation of Carotenoids, Chlorophylls, and Tocopherols in Brassica Vegetables. **J. Agric. Food Chem.**, v. 60, p.7238–7244, 2012.

IBRAHIM, K.E.; JUVIK, J.A. Feasibility for improving phytonutrient content in vegetable crops using conventional breeding strategies: case study with carotenoids and tocopherols in sweet corn and broccoli. **J. Agric. Food Chem.**, v. 57, p.4636–4644, 2009.

JAHANGIR, M.; KIM, H.K.; CHOI, Y.H.; VERPOORTE, R. Health-affecting compounds in Brassicaceae. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.**, v. 8, p.31–43, 2009.

KALISZ, A.; SEKARA, A.; SMOLEŃ, S.; GRABOWSKA, A.; GIL, J.; CEBULA, S. Mineral composition of cauliflowers with differently coloured curds modified by the chilling of juvenile plants. **Scientia Horticulturae**, v. 232, p.216–225, 2018.

KNECHT, K.; SANDFUCHS, K.; KULLING, S.E.; BUNZEL, D. Tocopherol and tocotrienol analysis in raw and cooked vegetables: A validated method with emphasis on sample preparation. **Food Chemistry**, v. 169, p.20–27, 1986

KRAMER, A. Use of colour measurements in quality control of food. **Food Technology**, v. 30, p.62–64, 1976.

LEON, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEON, J. (2006). Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. **Food Research International**, v. 39, n. 10, p.1084–1091, 2006.

LESSIN, W. J.; CATIGANI, G. L.; SCHWARTZ, S. J. Quantification of cis-trans Isomers of Provitamin A Carotenoids in Fresh and Processed Fruits and Vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 45, n. 10, p. 3728–3732, 1997.

LI, L.; LU, S.; COSMAN, K. M.; EARLE, E. D.; GARVIN, D. F.; O'NEILL, J. β -Carotene accumulation induced by the cauliflower Or gene is not due to an increased capacity of biosynthesis. **Phytochemistry**, v. 67, p.1177–1184, 2006.

LIMA, G. P. P.; COSTA, S. M.; MONACO, K. de A.; ULIANA, M. R.; FERNANDEZ, R. M.; CORREA, C. R.; VIANELLO, F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; MINATEL, I. O. Cooking processes increase bioactive compounds in organic and conventional green beans. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 68, n. 8, p.919–930, 2017.

LO SCALZO, R.; GENNA, A.; BRANCA, F.; CHEDIN, M.; CHASSAIGNE, H. Anthocanin composition of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and cabbage (*B. oleracea* L. var. capitata) and its stability in relation to thermal treatments. **Food Chemistry**, v. 107, p.136–144, 2008.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; GÓMEZ, P. A.; ARTÉS, F. Induced changes in bioactive compounds of kailan-hybrid broccoli after innovative processing and storage. **Journal of Funcional Foods**. v. 5, p.3-43, 2013.

MIGLIO, C.; CHIAVARO, E.; VISCONTI, A.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 56, p.139–147, 2008.

MINATEL, I. O.; BORGES, C. V.; FERREIRA, M. I.; GOMEZ, H. A. G.; CHEN, C.-Y. O.; LIMA, G. P. P. Phenolic Compounds: Functional Properties, Impact of Processing and Bioavailability. In: **Phenolic Compounds - Biological Activity**, InTech, v. 2, p. 64, 2017.

MURILLO, E.; PLUMPTON, S. E.; GAUNT, J. K. The Properties and Distribution of α -Tocopherol Oxidase in Plants. **Biochemical Society Transactions**, v. 4, n. 3, p.486-487, 1976.

NISHA, P.; SINGHAL, R. S.; PANDIT, A. B. Kinetic modelling of colour degradation in tomato puree (*Lycopersicon esculentum* L.). **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p.781–787, 2011.

PACIULLI, M.; PALERMO, M.; CHIAVARO, E.; PELLEGRINI, N. Chlorophylls and Colour Changes in Cooked Vegetables. **Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health**, v. 1, p.703-719, 2018.

PALERMO, M., PELLEGRINI, N., FOGLIANO, V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. **J. Sci. Food Agric.**, v. 94, p.1057–1070, 2014.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technol**, v. 6, p.36-60, 2012.

PELLEGRINI, N., CHIAVARO, E., GARDANA, C., MAZZEO, T., CONTINO, D., GALLO, M., RISO, P., FOGLIANO, V., PORRINI, M. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and

frozen brassica vegetables. **J. Agric. Food Chem.**, v. 58, p.4310–21, 2010.

PEREIRA, A. C.; REIS, M. S.; SARAIVA, P. M. Quality control of food products using image analysis and multivariate statistical tools. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 48, n. 2, p.988–998, 2009.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p.1–11, 2007.

PRETI, R.; RAPA, M.; VINCI, G. Effect of steaming and boiling on the antioxidant properties and biogenic amines content in green bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties of different colours. **Journal of Food Quality**, v. 2017, 2017.

RENNIE, C., WISE, A. Preferences for steaming of vegetables. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**. v. 23, p.108-110, 2009.

RUNDRA, S.G.; SARKAR, B.C.; SHIVHARE, U.S. Thermal degradation kinetics of chlorophyll in pureed coriander leaves. **Food Bioprocess Technol**, v.1, p.91–99, 2008.

SALAZAR-GONZÁLEZ, C.; MARTÍN-GONZÁLEZ, M. F. S.; LÓPEZ-MALO, A.; SOSA-MORALES, M. E. Recent Studies Related to Microwave Processing of Fluid Foods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p.31–46, 2012.

SHAMS EL-DIN, M. H. A.; ABDEL-KADER, M. M.; MAKHLOUF, S. K.; MOHAMED, O. S.S. Effect of some cooking methods on natural antioxidants and their activities in some Brassica vegetables. **World Appl. Sci. J.**, v. 26, p.697–703, 2013.

SHARDELL, M. D.; ALLEY, D. E.; HICKS, G. E.; EL-KAMARY, S. S.; MILLER, R. R.; SEMBA, R. D.; FERRUCCI, L. Low-serum carotenoid concentrations and carotenoid interactions predict mortality in US adults : the Third National Health and Nutrition Examination Survey. **Nutrition Research**, v.31, n.3, p.178-189, 2011.

TANSEY, F.; GORMLEY, R.; BUTLER, F. The effect of freezing compared with chilling on selected physico-chemical and sensory properties of sous vide cooked carrots. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p.137-145, 2010.

WACHTEL-GALOR, S.; WONG, K. W.; BENZIE, I. F. F. The effect of cooking on Brassica vegetables. **Food Chemistry**, v. 110, p.706–710, 2008.

ZHOU, H. C., LIN, Y. M., LI, Y. Y., LI, M. M., WEI, S. D., CHAI, W. M., TAM, N. F. Y. Antioxidant properties of polymeric proanthocyanidins from fruit stones and pericarp of *Litchi chinensis* Sonn. **Food Research International**, v. 44, n. 2, p.613–620, 2011.

APÊNDICE A – Tabelas de correlação

Tabela 5. Matriz de correlação de Spearman entre os carotenoides, provitamínicos A e atributos de cor (L^* , C^* e h°) em couves-flores coloridas cruas e processadas termicamente.

Variáveis	Luteína	Zeaxantina	t-Criptoxantina	t- α -Caroteno	t- β -Caroteno	Σ pVACs	RAE	Σ Caroteno	L^*	C^*	h°
Luteína	1	0,932	0,865	0,808	0,846	0,848	0,846	0,869	-0,199	0,573	0,014
Zeaxantina	0,932**	1	0,847	0,780	0,837	0,839	0,836	0,863	-0,157	0,553	0,030
t-Criptoxantina	0,865	0,847	1	0,959	0,951	0,953	0,952	0,969	-0,092	0,672	-0,199
t- α -Caroteno	0,808	0,780	0,959	1	0,950	0,952	0,951	0,96	-0,067	0,741	-0,276
t- β -Caroteno	0,846	0,837	0,951	0,95	1	0,999	1	0,992	0,018	0,777	-0,335
Σ pVACs	0,848	0,839	0,953	0,952	0,999	1	1	0,992	0,010	0,775	-0,329
RAE	0,846	0,836	0,952	0,951	1	1	1	0,991	0,016	0,778	-0,337
Σ Caroteno	0,869	0,863	0,969	0,96	0,992	0,992	0,991	1	-0,044	0,752	-0,279
L^*	-0,199	-0,157	-0,092	-0,067	0,018	0,01	0,016	-0,044	1	0,24	-0,678
C^*	0,573	0,553	0,672	0,741	0,777	0,775	0,778	0,752	0,24	1	-0,638
h°	0,014	0,03	-0,199	-0,276	-0,335	-0,329	-0,337	-0,279	-0,678	-0,638	1

**Valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância alfa = 0,05

Tabela 6. Matriz de correlação de Spearman entre o conteúdo de ABTS e carotenoides, pro vitamínicos A, tocoferol, atributos de cor em couve-flor colorida crua e processada termicamente.

ABTS in cauliflower	Lut	Zea	pVACs			Σ pVACs	Σ Carot	RAE	α -toco	γ -toco	Σ Toco	L^*	C^*	TC	TA
			t- Cript	t- α -C	t- β -C										
VM ^a	-0.32	-0.38	-0.43	-0.20	-0.531	-0.53	-0.49	-0.53	-0.14	-0.20	-0.18	0.26	-0.52	0.30	-
C ^b	0.62**	0.14	0.21	0.07	0.07	0.037	0.08	0.06	-0.04	0.61	0.56	0.09	0.08	-	-
F ^c	0.72	0.55	0.58	0.30	0.40	0.40	0.47	0.40	0.53	0.59	0.51	0.14	-0.07	-	-
G ^d	-0.76	-0.21	-0.54	-0.66	-0.68	-0.68	-0.74	-0.68	-0.77	-0.69	-0.70	-0.64	0.47	-	0.51

**Valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância alfa = 0,05

^aVM - 'Verde di Macerata'; ^bC - 'Cheddar'; ^cF - 'Forata'; ^dG - 'Graffiti'

Lut = lutein; Zea = zeaxanthin; t- Cript = t- Criptoxanthin; t- α -C = t- α -Carotene; t- β -C = t- β -Carotene; pVACs = pro vitamins; Σ pVACs = sum of pro vitamins; Σ Carotenoids = sum of carotenoids; RAE = retinol activity equivalents; α -toco = α -tocopherol; γ -toco = γ -tocopherol; Σ Toco = Σ Tocopherol; L^* = lightness; C^* = chroma; TC = total chlorophyll; TA = total anthocyanin