

Pré-tratamento com radiação UV-C: influências sobre as propriedades tecnológicas e metabólitos em feijão armazenado

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do tratamento com UV-C (10 J/cm²) em pré-armazenamento de grãos, seguido de armazenamento durante 6 meses, sobre as propriedades químicas, tecnológicas e de metabólicas. Os feijões com 14 e 16% de umidade foram submetidos a radiação UV-C, a uma dose de 10 J/cm², utilizando uma câmara com 4 lâmpadas germicida (30 W Phillips®) com um comprimento de onda de 254 nm, distância de 60 cm da fonte e a temperatura durante a irradiação de 25°C. Os grãos foram irradiados em triplicata, sendo posteriormente armazenados em câmara B.O.D com temperatura de 30°C durante 6 meses. Foram realizadas as análises de umidade, tempo de cocção, acidez, pH, condutividade elétrica, sólidos lixiviados, fenóis totais, taninos, antocianinas, proantocianidinas, flavonoides totais, ABTS e DPPH. O uso de radiação UV-C em feijão é possível, porque promove mínimas mudanças nas propriedades tecnológicas e químicas. A radiação UV-C tem mais influência sobre os metabólitos no tratamento de 16% de umidade, sendo os compostos fenólicos, proantocianidinas e flavonóides reduzidos quando a radiação UV-C é utilizada, enquanto que os taninos foram reduzidos em grãos não irradiados, estando diretamente relacionadas com o endurecimento dos grãos.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris* (L.), armazenamento, tempo de cocção, compostos fenólicos, qualidade.

Cristiano Dietrich Ferreiracristiano.d.f@hotmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

Valmor Zieglervamzler@hotmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

Marcelo Ricardo Cappelarimarcelo.cappelari@hotmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

Marcio Petermarcio.peter@yahoo.com.br

Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

Maurício Oliveiramauricio@labgraos.com.br

Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um alimento tradicional, consumido por cerca de 70% da população brasileira. Os grãos de feijão são fonte de proteínas (25%), ferro, cálcio, magnésio, zinco, vitaminas, carboidratos e fibras. Embora no Brasil seja possível a realização de três safras ao ano, o armazenamento é uma prática adotada para suprir a demanda deste grão durante o período de entressafra, além de possibilitar a comercialização no momento mais oportuno.

O feijão geralmente é colhido com umidade acima da ideal para o armazenamento (superior a 16%), e em muitos casos esta umidade é mantida elevada durante o armazenamento, pois o consumidor associa um feijão úmido/macio à boa qualidade de cocção. Além disso, a legislação brasileira de classificação de grãos de feijão recomenda que os grãos sejam comercializados com umidade de 14%, porém permite que eles sejam comercializados com umidade superior, desde que sejam observados os padrões de qualidade (BRASIL, 2008). Segundo Rani et al. (2013) feijões com umidade elevada (16, 18 e 20%) armazenados em temperaturas acima de 30°C apresentam redução na qualidade antes de 10 semanas. Estas alterações podem ser de origens químicas, enzimáticas e microbiológicas, destacando-se os fungos e microrganismos associados, que acarretam no endurecimento, perda de valor nutricional e em alguns casos na produção de micotoxinas (CHIDANANDA et al., 2014; GRANITO et al., 2008; RANI et al., 2013). As técnicas mais utilizadas para manutenção da qualidade do feijão são o armazenamento hermético (FREITAS et al., 2016), atmosfera modificada com nitrogênio (VANIER et al., 2014) e refrigeração (Temperatura - 15°C/Umididade Relativa - 55%) (RIGUEIRA et al., 2009), sendo que recentemente têm surgido alguns estudos com a utilização de radiação UV-C (DAWAR et al., 2013) e Gama (VILLAVICENCIO et al., 2000) em pré-armazenamento de grãos.

A radiação ultravioleta é dividida em três faixas de comprimento de onda, UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) e UV-C (200-280nm). A radiação UV-C é conhecida como um agente desinfetante eficaz, de grande ação germicida e possui ampla aplicação no tratamento de águas residuais e de água potável (HOLLÓSY, 2002). Dawar et al. (2013) relataram que a radiação UV-C apresenta controle efetivo no crescimento de fungos durante o armazenamento, de grãos de mamona. Segundo Cote et al. (2013) a intensidade da radiação e o tipo de microrganismo tem influência direta na efetividade do tratamento, porém radiações com elevada intensidade resultam em reações oxidativas, que modificam as características nutricionais e sensoriais dos alimentos. Além da ação germicida, a radiação UV-C promove estresse aos tecidos vegetais, agindo sobre proteínas, lipídeos, DNA, hormônios, pigmentos e membranas, com isso, alguns compostos com atividade antioxidante são produzidos ou mobilizados para reduzir estas alterações (BRAVO et al., 2012; HOLLÓSY, 2002; POMBO et al., 2011). A utilização da radiação UV-C em frutas e hortaliças está bem elucidada (BRAVO et al., 2012; LIU et al., 2012; POMBO et al., 2011), porém em grãos não existem estudos sobre a utilização da radiação UV-C como técnica de pré-armazenamento, bem como as alterações ocorridas em função deste tratamento. Dessa forma, objetivou-se, com esse estudo, avaliar as alterações nas propriedades químicas, tecnológicas e de metabólitos promovidas pela utilização de radiação UV-C (10J/cm²) em grãos de feijão no armazenamento por 6 meses.

MATERIAIS E MÉTODOS

EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido no laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (DCTA), da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Foram utilizados grãos de feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) da cultivar Diamante Negro, produzidos no município de Erechim (Latitude: 27° 38' 03" S, Longitude: 52° 16' 26" O e Altitude: 783m), estado do Rio Grande do Sul, Brasil, provenientes da safra 2013. Os grãos foram colhidos mecanicamente com 16% de umidade e expurgados (com fosfina) para eliminar as pragas provenientes do campo. Uma fração dos grãos foi mantida a 16% de umidade e a outra foi seca até 14% de umidade, em secador estacionário, com temperatura da massa de 35°C.

Para aplicação de radiação UV-C, 500 gramas de grãos de feijão foram dispostos em bandeja plástica, formando uma camada de 2 cm. A fonte de radiação foi composta de quatro lâmpadas germicidas (Phillips® 30W), com comprimento de onda de 254 nm sendo os grãos colocados à distância de 60 cm da fonte de radiação, com dose pré-estabelecida de 10 J/cm², conforme a Equação 1.

$$D = I \times T \quad (1)$$

Onde:

D = Dose (J/cm²)

I = Intensidade (0,572 mW/cm²)

T = tempo (17483 seg)

A intensidade da radiação emitida foi determinada com medidor digital de luz ultravioleta (RS-232 Modelo MRUR-203, Instrutherm®) e a temperatura no momento da aplicação foi de 25°C. Os grãos foram irradiados em triplicata e posteriormente colocados em sacos de polietileno de baixa densidade, 0,2 mm de espessura de filme plástico, sendo posteriormente armazenados em câmara B.O.D, na temperatura de 30°C, durante 6 meses.

ANÁLISES QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS

Umidade

A umidade foi determinada em estufa, durante 24 horas a 105 °C e os resultados expressos em porcentagem (%), em base úmida.

pH dos grãos

O pH dos grãos foi determinado conforme descrito por Paraginski et al. (2014). Em tubo Falcon, foram adicionados 2 g de grãos moídos e 20 mL de água destilada, seguidos de agitação por 1 min. Após a filtração, o pH foi determinado com um medidor de pH com eletrodo de vidro.

Acidez titulável

A acidez foi determinada conforme descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985). Foram pesados 2 g de grãos moídos com adição de 20 mL de água destilada. Foi utilizado o indicador Fenolftaleína (0,01 %), sendo titulado com NaOH (0,1 N) até a coloração rósea. Os resultados foram expressos em mg NaOH/100 g de grãos.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi determinada segundo método proposto por Nasar-Abbas et al. (2008). Os grãos de feijão (10 gramas) foram imersos em 50 mL de água deionizada durante 18 horas. Após esse período foi realizada a filtragem desse material, sendo posteriormente medida a condutividade elétrica em condutivímetro digital (Modelo HI 98311). O resultado foi expresso em $\mu\text{S}/\text{cm}^2/\text{g}$.

Sólidos lixiviados

Os sólidos lixiviados foram determinados segundo Nasar-Abbas et al. (2008). Os grãos de feijão (10 g) foram imersos em 50 mL de água deionizada durante 18 horas. Após o período de imersão a água foi coletada e levada à estufa com circulação de ar a 105 °C, por 24 horas e os resultados foram expressos em mg/100g de grãos, em base seca.

Tempo de cocção

O tempo de cocção foi determinado conforme descrito por Vanier et al. (2014). No equipamento de Mattson modificado, com 25 hastes, foram colocados 25 grãos uniformes e inteiros previamente embebidos em 80 mL de água destilada, por 14 horas, a 25 °C. Cada haste apresenta comprimento de 210 mm e massa de 89 gramas, possuindo, na extremidade, uma ponta afunilada com 2,05 mm de diâmetro e comprimento de 9 mm, para a penetração no grão em análise. O equipamento com os grãos foi colocado em Becker de 2000 mL, contendo 400 mL de água destilada, fervendo em chapa elétrica. Em continuidade, o tempo de

cozção das amostras passou a ser cronometrado após a água atingir a temperatura de 90 °C. O tempo de cozção foi finalizado pela queda da 13ª haste (mais de 50% dos grãos) e expresso em minutos.

ANÁLISES DE METABÓLITOS

Extração

O extrato foi obtido conforme método descrito por Nasar-Abbas et al. (2008), com algumas modificações. Foram pesados 2 g de grãos moídos em tubo de Falcon, sendo posteriormente realizadas três extrações com 10 mL de acetona: água, 70:30 (v/v). As amostras foram agitadas durante 20 min a cada extração e em seguida foram centrifugadas a 7500xg por 15 min, sendo os sobrenadantes foram unidos. O extrato foi utilizado para as análises de compostos fenólicos totais, taninos totais, proantocianidinas totais, flavonoides totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS.

Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, descrito por Zieliński e Kozłowska (2000), com algumas modificações. Foram adicionados 100 µL de extrato em tubo de Falcon de 15 mL e completado o volume para 500 µL com água destilada. Foram adicionados 250 µL de reagente Folin-Ciocalteu 1 N e aguardou-se 8 minutos, seguido de adição de 1,25 mL da solução de carbonato de sódio (7% m/v). Após, o tubo foi agitado e coloca ao abrigo da luz por 2h. A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Jenway, 6705 UV/Vis) a 725 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g.

Taninos totais

Os taninos totais foram determinados segundo Nasar-Abbas et al. (2008). Foram pesados 100 mg de PVPP (Polivinil Polipirrolidona) em tubos Falcon. Neste tubo foi adicionado 1 mL do extrato e 1 mL de água, em seguida as amostras foram agitadas em vórtex e levadas a 5 °C durante 15 minutos. As amostras foram centrifugadas a 7500xg durante 15 minutos. No sobrenadante foram determinados os compostos fenólicos não tânico, pela reação de cor, conforme descrita para a determinação de compostos fenólicos totais (item anterior). Os taninos totais foram obtidos pela subtração do conteúdo de compostos fenólicos não tânico do conteúdo de compostos fenólicos totais presentes na amostra. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g.

Antocianinas totais

As antocianinas totais foram determinadas segundo o método proposto por Abdel-Aal e Hucl (1999), utilizando 0,5 gramas de grãos moídos adicionados de 30 mL de metanol acidificado (metanol e 1 N HCl, 85:15 v/v). As amostras foram centrifugadas a 7500xg durante 15 minutos. Posteriormente a leitura foi realizada em espectrofotômetro (Jenway, 6705 UV/Vis) a 535 nm e os resultados foram expressos em mg de equivalente de cianidina 3-glicosídeo (EC-3-G)/100 g.

Proantocianidinas totais

As proantocianidinas totais foram determinadas segundo Porter et al. (1985). Foram pipetados 0,5 mL do extrato em tubos de vidro com tampa, em seguida foram adicionados 3,0 mL de butanol acidificado (butanol:HCl, 95:5) e 0,1 mL de reagente férrico (2% de sulfato férrico de amônia em 2N HCl). A mistura foi levada a banho (97-100°C), por 30 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 550 nm e os resultados expressos em mg de leucoantocianidinas (LE)/100 g.

Flavonoides totais

O conteúdo de flavonoides totais foi realizado conforme método descrito por Ziegler et al. (2016). Adicionou-se 0,5 mL do extrato em tubo de Falcon de 15 mL juntamente com 2 mL de água e 0,15 mL de NaNO₂ (5%), deixou-se reagir durante 5 min., em seguida foi adicionado 0,15 mL de AlCl₃ (10%), deixou-se reagir por mais 6 min., após adicionou-se 1 mL de NaOH 1 mol/L e 1,2 mL de água destilada, posteriormente realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Jenway, 6705 UV/Vis) a 510 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de catequina (EC)/100 g.

Atividades antioxidantes

A atividade antioxidante pelo método do radical ABTS foi realizada segundo Re et al. (1999). Adicionou-se 0,1 mL (100 µL) do extrato em tubo de Falcon de 15 mL e a este 3,9 mL (3900 µL) da solução diluída de ABTS com absorvância 0,700±0,05 nm. A mistura foi agitada em vortex, e após 6 minutos foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 734 nm, com aparelho zerado com álcool etílico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente trolox (ET)/100 g.

A atividade antioxidante pelo método do radical DPPH foi realizada segundo Brand-Williams et al. (1995). Adicionou-se 10µL de extrato e 90µL de metanol P.A., seguido de 3,9 mL de solução diluída de DPPH com absorvância entre 1,080 e 1,120 nm. A mistura foi agitada em vórtex e realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 515 nm após 2 horas e 30 minutos, com aparelho zerado

com metanol. Os resultados foram expressos em mg de equivalente trolox (ET)/100 g.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância ANOVA, seguida de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentadas propriedades químicas e tecnológicas de grãos de feijão submetidos a radiação UV-C e armazenados por 6 meses. Os grãos de feijão irradiados apresentaram redução ($p \leq 0,05$) da umidade aos 6 meses de armazenamento, quando comparado ao início do armazenamento e aos grãos sem radiação, independente do conteúdo inicial de umidade. A umidade no ambiente de armazenamento é influenciada pela dinâmica metabólica dos grãos, sendo influenciado principalmente pela respiração, onde são consumidos nutrientes e oxigênio, gerando dióxido de carbono, vapor de água e energia na forma de calor (CHIDANANDA et al., 2014). Provavelmente a redução na umidade se deva a oxidação superficial dos grãos o que facilitou a perda de umidade.

Tabela 1. Propriedades químicas e tecnológicas de grãos de feijão submetidos a radiação UV-C e armazenados por 6 meses.

Tratamentos	Umidade (%)	Tempo de cocção (min)	Acidez (mg NaOH/100g)	pH	Condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}^2/\text{g}$)	Sólidos lixiviados (g/100g)
Umidade inicial 14%						
Inicial	13,80 ^{b*} ± 0,10	30 ^c ± 2,64	2,65 ^c ± 0,03	6,46 ^a ± 0,02	149,16 ^b ± 2,96	2,39 ^c ± 0,07
Sem UV-C**	14,62 ^b ± 0,56	92 ^b ± 2,00	3,49 ^b ± 0,02	6,26 ^c ± 0,01	151,38 ^b ± 6,65	4,29 ^b ± 0,28
Com UV-C**	12,06 ^c ± 0,66	88 ^b ± 1,00	3,22 ^b ± 0,21	6,25 ^c ± 0,01	137,78 ^b ± 16,48	3,96 ^b ± 0,46
Umidade inicial 16%						
Inicial	16,49 ^a ± 0,13	32,33 ^c ± 0,57	2,54 ^c ± 0,05	6,39 ^a ± 0,05	160,34 ^b ± 6,69	2,36 ^c ± 0,25
Sem UV-C**	16,09 ^a ± 0,24	***	3,97 ^a ± 0,01	6,16 ^d ± 0,01	326,22 ^a ± 9,83	7,90 ^a ± 0,64
Com UV-C**	14,42 ^b ± 0,05	170 ^a ± 11,23	3,94 ^a ± 0,08	6,12 ^d ± 0,01	300,32 ^a ± 7,48	7,37 ^a ± 0,08

NOTA: *Médias aritméticas simples, seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** Resultados obtidos aos 6 meses de armazenamento. *** Amostras não cozinham.

Após seis meses de armazenamento foi observado aumento ($p \leq 0,05$) no tempo de cocção em todos os tratamentos, quando comparados ao início do

armazenamento. A radiação somente influenciou o tempo de cocção nos grãos com 16% de umidade, onde os grãos irradiados apresentaram menor tempo de cocção, quando comparados aos grãos armazenados sem irradiação. Algumas reações estão envolvidas no endurecimento do feijão, como a complexação pectina-cátion-fitato, lignificação das células de parede, interações proteína/amido e ligação compostos fenólicos com proteínas (NJORGE et al., 2014; Shiga, 2004; RUPOLLO et al., 2011). Resultados semelhantes foram encontrados por (PLHAK et al., 1987) em estudo com pré-tratamentos no armazenamento (secagem natural, secador solar, micro-ondas, secagem na vagem, torrefação e irradiação gama). Eles reportaram o endurecimento quando os grãos de feijão foram armazenados em 80% de umidade relativa e 30°C em todos os pré-tratamentos, porém os menores valores de dureza foram observados durante o armazenamento quando se utilizou radiação Gama (CO60) como pré-tratamento.

Após seis meses de armazenamento foi verificado aumento ($p \leq 0,05$) da acidez, sólidos lixiviados, condutividade elétrica (exceto na umidade de 14%) e redução ($p \leq 0,05$) no pH em todos os tratamentos, quando comparados ao início do armazenamento, sendo estes parâmetros mais afetados na umidade de 16%. Não foram observadas alterações em função da utilização de radiação UV-C. Segundo Hentges et al. (1991) e Coelho et al. (2007) as análises de acidez, sólidos lixiviados, condutividade elétrica e pH estão intimamente relacionadas e fornecem uma visão geral da integridade celular dos grãos. Durante o armazenamento algumas enzimas como lipases e fitases atuam nos grãos, liberando moléculas ácidas no meio, aumentando a acidez e diminuindo o pH dos grãos. A hidrólise dos fitatos pela enzima fitase promove a liberação de íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , aumentando a condutividade e os sólidos lixiviados.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados para os metabolitos totais de grãos de feijão submetidos à radiação UV-C e armazenados por 6 meses. Os grãos de feijão apresentaram elevada quantidade de metabolitos totais. Resultados semelhantes aos encontrados por Boateng et al. (2008); Hayat et al. (2014); Luthria e Pastor-Corrales (2006); que reportaram valores de fenólicos totais (1917-5417 mg/100g), taninos (1910-4830 mg/100g), flavonoides (587-1414 mg/100g), antocianinas (213-470 mg/100g), proantocianidinas (51-313 mg/100g). Após o armazenamento foram verificadas reduções ($p \leq 0,05$) no conteúdo de metabolitos (fenóis totais, taninos totais, antocianinas totais, proantocianidinas totais e flavonoides totais) em todos os tratamentos, quando comparado ao início do armazenamento, porém as maiores reduções ocorreram nos grãos armazenados com 16% de umidade, associados a utilização da radiação (exceto para os taninos e antocianinas) como tratamento pré-armazenamento.

Os taninos foram a fração predominante nos grãos de feijão, correspondendo a 75% do total de compostos fenólicos (início do armazenamento). O menor valor de taninos foi observado nos grãos não irradiados armazenados com 16% de umidade, onde também foi observado o maior tempo de cocção (Tabela 1). A redução dos taninos está associada ao aumento no tempo de cocção, pois a redução no conteúdo de taninos ocorre devido à polimerização ou complexação destes compostos principalmente com proteínas, reduzindo sua extração (STANLEY, 1992), dificultando a hidratação e consequentemente elevando o tempo de cocção (NJORGE et al., 2015). Segundo Plhak et al. (1987) flavonoides como antocianinas e proantocianidinas

não estão envolvidos no processo de endurecimento, embora possam ser reduzidos durante o armazenamento. Os taninos são encontrados predominantemente na parte externa dos grãos de feijão (tegumento). Nesta camada é o local de maior ação da radiação UV-C, que segundo Hollósy (2002) pode levar a inativação de proteínas e enzimas pela fotólise de aminoácidos aromáticos e pontes dissulfídicas, portanto a inativação das enzimas polifenoloxidasas e peroxidases pode explicar o menor tempo de cocção dos grãos irradiados e armazenados com 16% de umidade. A redução dos fenólicos totais nos grãos irradiados e armazenados com 16% de umidade foi influenciada diretamente pela redução das proantocianidinas e flavonoides totais, conforme observado na Tabela 2. Estes compostos são os principais responsáveis pela defesa de plantas a estresses abióticos, como temperatura, umidade e radiação, principais causadores de oxidações (GRANITO et al., 2008).

Tabela 2. Metabólitos totais de grãos de feijão submetidos a radiação UV-C e armazenados por 6 meses.

Tratamentos	Fenóis Totais (mg.EAG/100g)	Taninos (mg.EAG/100)	Flavonoides Totais (mg.CE/100g)	Antocianinas (mg.EC-3-G/100g)	Proantocianidinas (mg.EL/100g)
Umidade inicial 14%					
Inicial	4558,99 ^{a*} ± 24,46	3422,51 ^a ± 4,44	374,78 ^a ± 1,89	165,76 ^{ab} ± 10,13	135,13 ^a ± 4,24
Sem UV-C**	4054,94 ^b ± 20,82	2939,29 ^b ± 26,64	261,79 ^b ± 4,67	148,52 ^c ± 5,00	114,02 ^b ± 0,81
Com UV-C**	4129,70 ^b ± 16,63	2944,29 ^b ± 17,75	260,61 ^b ± 16,41	157,42 ^{bc} ± 1,92	118,90 ^b ± 0,96
Umidade inicial 16%					
Inicial	4561,94 ^a ± 10,25	3477,11 ^a ± 17,76	370,14 ^a ± 0,60	179,14 ^a ± 1,20	140,47 ^a ± 0,60
Sem UV-C**	3034,85 ^c ± 30,12	1695,58 ^d ± 56,43	200,13 ^c ± 2,20	106,29 ^d ± 2,90	79,96 ^c ± 5,28
Com UV-C**	2608,96 ^d ± 45,02	1813,69 ^c ± 14,98	161,29 ^d ± 11,90	95,28 ^d ± 2,64	65,79 ^d ± 1,90

NOTA: *Médias aritméticas simples, seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** Resultados obtidos aos 6 meses de armazenamento.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados para a atividade antioxidante pelos radicais ABTS e DPPH. Segundo Granito et al. (2008), a atividade antioxidante está positivamente correlacionada com os compostos fenólicos.

Após o armazenamento foi verificado a redução ($p \leq 0,05$) da atividade antioxidante para ambos os radicais (ABTS e DPPH) e umidades (14 e 16%), quando comparados ao início do armazenamento. A radiação somente apresentou alteração na atividade antioxidante pelo radical ABTS, sendo o menor ($p \leq 0,05$) valor observado nos grãos irradiados e armazenados com 16% de umidade. A maior reatividade verificada no radical ABTS, segundo Prior et al. (2005) ocorre devido a apresentar em sua estrutura um radical peróxil mais

instável, sendo que a redução dos flavonoides, proantocianidinas e antocianinas foram os principais responsáveis por esta redução. Embora tenha sido observada redução ($p \leq 0,05$) na atividade antioxidante pelo radical DPPH quando comparado ao início do armazenamento, não foram observadas diferenças ($p \leq 0,05$) entre os grãos irradiados e não irradiados. Na umidade de 16% os taninos apresentaram comportamento inverso aos verificados nos outros metabólitos, com menor valor nos grãos não irradiados. Segundo Prior et al. (2005) o DPPH é um radical nitrogenado mais estável, que apresenta maior reatividade com moléculas pequenas, como os ácidos fenólicos que compõem os taninos, o que justifica os resultados encontrados para DPPH.

Tabela 3. Capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH e grãos de feijão submetidos a radiação UV-C e armazenados por 6 meses.

Tratamentos	ABTS (mg. ET/100g)	DPPH (mg. ET/100g)
Umidade inicial 14%		
Inicial	1963,44 ^{a*} ± 11,95	1412,87 ^a ± 35,27
Sem UV-C**	1183,50 ^c ± 20,00	1082,71 ^b ± 5,05
Com UV-C**	1306,00 ^b ± 22,50	1136,70 ^b ± 9,92
Umidade inicial 16%		
Inicial	1972,38 ^a ± 12,01	1405,81 ^a ± 143,68
Sem UV-C**	1322,25 ^b ± 31,25	837,56 ^c ± 16,53
Com UV-C**	697,25 ^d ± 6,25	718,01 ^c ± 5,05

NOTA: *Médias aritméticas simples, seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** Resultados obtidos aos 6 meses de armazenamento.

CONCLUSÃO

Mostrou-se possível a utilização da radiação UV-C em grãos de feijão como tratamento de pré-armazenamento, pois são observadas mínimas alterações nas propriedades tecnológicas e químicas. A radiação UV-C apresentou maiores efeitos na umidade mais elevada (16%), pois, nessa umidade as reações deteriorativas são favorecidas. O menor tempo de cocção observado nos grãos irradiados com UV-C e armazenados com 16% de umidade, foi um resultado importante, pois influencia diretamente no consumo destes grãos.

A radiação UV-C somente influenciou os metabólitos na umidade de 16%, onde os compostos fenólicos, proantocianidinas e flavonoides totais reduziram com a utilização da radiação UV-C, enquanto que os taninos foram reduzidos nos grãos não irradiados, onde foram os principais responsáveis pelo endurecimento dos grãos. Para maior confiabilidade da utilização da radiação UV-C, são necessários mais estudos, associando diferentes doses de radiação UV-C, temperaturas de armazenamento e umidades de grãos.

Pre-treatment with UV-C: influence on the technological properties and metabolites in stored beans

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of treatment with UV-C (10J/cm²) in pre-storage beans, followed by storage for 6 months on the chemical, technological and metabolite properties. Beans with 14 and 16% moisture content were subjected to UV-C radiation, at a dose of 10 J / cm² using a chamber 4 with germicidal lamps (30W Phillips®) with a wavelength of 254 nm, 60 cm distance from the source and temperature during irradiation of 25 °C. The grains were irradiated in triplicate, and subsequently stored in B.O.D chamber at 30 ° C for 6 months temperature. Moisture, cooking time, acidity, pH, electrical conductivity, solid leached, total phenols, tannins, anthocyanins, proanthocyanidins, total flavonoids, ABTS and DPPH were performed. The use of UV-C radiation in beans is possible, because promoted minimal changes in technological and chemical properties. The UV-C radiation has more influence on the metabolites in 16% moisture treatment, where the phenolic compounds, total proanthocyanidins and flavonoids are reduced when used UV-C radiation, while the tannins were reduced in unirradiated grains, being directly related with hardening at grains.

KEYWORDS: *Phaseolus vulgaris* (L.), storage, cooking time, phenolic compounds, quality.

REFERÊNCIAS

ABDEL-AAL, E.-S. M.; HUCL, P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 3, p. 350–354, 1999.

BOATENG, J.; VERGHESE, M.; WALKER, L. T.; OGUTU, S. Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus* spp. L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 1541–1547, 2008.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, p. 25–30, 1995.

BRAVO, S.; GARCÍA-ALONSO, J.; MARTÍN-POZUELO, G.; GÓMEZ, V.; SANTAELLA, M.; NAVARRO-GONZÁLEZ, I.; PERIAGO, M. J. The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene, β -carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 296–302, 2012.

CHIDANANDA, K. P.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D. S.; ALAGUSUNDARAM, K.; WHITE, N. D. G.; FIELDS, P. G. Respiration of pulses stored under different storage conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 42–47, 2014.

COELHO, C. M. M.; BELLATO, C. M.; SANTOS, J. C. P.; ORTEGA, E. M. M.; TSAI, S. M. Effect of phytate and storage conditions on the development of the “ hard-to-cook ”. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 1243, p. 1237–1243, 2007.

COTE, S.; RODONI, L.; MICELI, E.; CONCELLÓN, A.; CIVELLO, P. M.; VICENTE, A. R. Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 83, p. 83–89, 2013.

DAWAR, S.; KHALID, S.; TARIQ, M. Fungicidal effect of ultraviolet-C radiations in prevention of mycoflora of castor bean seeds. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 46, p. 2125–2130, 2013.

FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H. Hermetic storage for control of common bean weevil , *Acanthoscelides obtectus* (Say). **Journal of Stored Products Research**, v. 66, p. 1–5, 2016.

GRANITO, M.; PAOLINI, M.; PÉREZ, S. Polyphenols and antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 994–999, 2008.

HAYAT, I.; AHMAD, A.; MASUD, T.; AHMED, A.; BASHIR, S. Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): an overview. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 5, p. 580–92, 2014.

HENTGES, D. L.; WEAVER, C. M.; NIELSEN, S. S. Changes of selected physical and chemical components the development of the hard-to-cook bean defect. **Journal of food science**, v. 56, n. 2, p. 436–442, 1991.

HOLLÓSY, F. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. **Micron**, v. 33, n. 2, p. 179–97, 2002.

Instituto Adolfo Lutz (IAL). Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos, Método 6.1.2.1, (3ª Ed.), 1985.

LIU, C. H.; CAI, L. Y.; LU, X. Y.; HAN, X. X.; YING, T. J. Effect of postharvest UV-C irradiation on phenolic compound content and antioxidant activity of tomato fruit during storage. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 159–165, 2012.

LUTHRIA, D. L.; PASTOR-CORRALES, M. A. Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 205–211, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Regulamento técnico do feijão, 2008. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=294660055>>. Acessado em: 20 de outubro, 2008.

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDIQUE, K. H. M.; WHITE, P. F.; HARRIS, D.; DODS, K.; Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 7, p. 1260–1267, 2008.

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDIQUE, K. H. M.; WHITE, P.; HARRIS, D.; DODS, K. Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 113–118, 2008.

NJOROGE, D. M.; KINYANJUI, P. K.; CHRISTIAENS, S.; SHPIGELMAN, A.; MAKOKHA, A. O.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. E. Effect of storage conditions on pectic polysaccharides in common beans (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the hard-to-cook defect. **Food Research International**, v. 76, p. 105–113, 2015.

PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; BERRIOS, J. D. J.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 209-214, 2014.

PLHAK, L. C.; STANLEY, D. W.; HOHLBERG, A. I.; AGUILERA, J. Hard-to-cook defect in black beans - Effect of pretreatment and storage condition on extractable phenols and peroxidase activity. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, v. 20, n. 5, p. 378-382, 1987.

POMBO, M. A.; ROSLI, H. G.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria X ananassa*, Duch.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 59, n. 1, p. 94-102, 2011.

PORTER, L. J.; HRSTICH, L. N.; CHAN, B. G. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, p. 223-230, 1985.

PRIOR, R.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 2005.

RANI, P. R.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G.; KAVITHA-ABIRAMI, C. V. Storage studies on pinto beans under different moisture contents and temperature regimes. **Journal of Stored Products Research**, v. 52, p. 78-85, 2013.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved abts radical. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 98, p. 1231-1237, 1999.

RIGUEIRA, R. J. DE A.; LACERDA FILHO, A. F. DE; VOLK, M. B. DA S. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. **Alimento e Nutrição**, v. 20, n. 4, 2009.

STANLEY, D. W. A possible role for condensed tannins in bean hardening. **Food Research International**, v. 25, p. 187-192, 1992.

VANIER, N. L.; RUPOLLO, G.; PARAGINSKI, R. T.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Effects of nitrogen-modified atmosphere storage on physical, chemical and technological properties of Carioca bean. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 20, p. 10-20, 2014.

VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; MANCINI-FILHO, J.; DELINCÉE, H.; GREINER, R. Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 57, n. 3-6, p. 289–293, 2000.

ZIELIŃSKI, H.; KOZŁOWSKA, H. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 48, n. 6, p. 2008–2016, 2000.

Recebido: 26 abr. 2016.

Aprovado: 02 jan. 2017.

DOI: 10.3895/rebrapa.v8n2.3911

Como citar:

FERREIRA, C. D. et al. Pré-tratamento com radiação UV-C: influências sobre as propriedades tecnológicas e metabólitos em feijão armazenado. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 8, n. 2, p. 1-15, abr./jun. 2017. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Cristiano Dietrich Ferreira

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

