

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

RODRIGO FILLET SPOTO

Efeitos de antioxidantes e radiação gama na qualidade de cana-de-
açúcar minimamente processada

Piracicaba

2019

RODRIGO FILLET SPOTO

Efeitos de antioxidantes e radiação gama na qualidade de cana-de-
açúcar minimamente processada

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Araújo Mastrangelo

Piracicaba

2019

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Spoto, Rodrigo Fillet

Efeitos de antioxidantes e radiação gama na qualidade de cana-de-açúcar minimamente processada / Rodrigo Fillet Spoto; Thiago de Araújo Mastrangelo. - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

63 p. : il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Ácido cítrico 2. Cisteína 3. Enzimas 4. Irradiação de alimentos 5. Peroxidase 6. Polifenol oxidase 7. Processamento de alimentos 8. Qualidade dos alimentos
I. Título.

CDU 664.8.035 + 664.8.039.5

Elaborada por:

Marília Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB Nº 184 de 29 de setembro de 2017

Dedico minha dissertação a minha mãe, meu anjo da guarda, minha melhor amiga e professora, por todo o apoio ao longo da elaboração desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Thiago de Araújo Mastrangelo pelo apoio e orientação durante a elaboração desse trabalho.

A Prof^a Marta Fillet Spoto, minha mãe por todos esses anos, me guiando e me ajudando, moldando a pessoa que hoje eu sou.

Ao meu pai Roberto dos Santos Spoto, por todos os seus conselhos e ajuda no trabalho.

Ao Dr. Edmilson José Ambrosano da APTA Centro-Sul, pelo o apoio que me deu, sempre desejando o melhor para mim.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pela oportunidade do curso de mestrado.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) – Código financiamento 001. Pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia (LIARE-CENA/USP), Laboratório de Frutas e Hortaliças e Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas (LTQB-ESALQ/USP).

A Dr. Paula Porreli por sempre me ajudar, e pela colaboração neste projeto.

A Msc Fernanda de Souza Silva, uma das maiores incentivadoras do meu ingresso no mestrado.

Ao Prof. Dr. Valter Arthur, pelas boas conversas após suas aulas e por todo o apoio.

“Se não fosse imperador, desejaria ser professor. Não conheço missão maior e mais nobre que a de dirigir as inteligências jovens e preparar os homens do futuro”.

Imperador Dom Pedro II

RESUMO

SPOTO, R. F. **Efeitos de antioxidantes e radiação gama na qualidade de cana-de-açúcar minimamente processada**. 2019. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

A cana-de-açúcar é um alimento bem aceito por toda a população em geral, podendo ser consumido na forma de toletes (*in natura*) ou na forma de caldo, podendo ser apreciado com gelo somente, ou adicionado de sucos cítricos, mas nem sempre tratada com algum sanitizante ou outro produto para manutenção de sua qualidade. A cana-de-açúcar também pode ser consumida na forma de minimamente processada, sanitizada e embalada, facilitando sua utilização em redes de alimentação. Embora o processamento mínimo de vegetais aumente a suscetibilidade ao ataque de microrganismos e escurecimento enzimático, essas alterações podem ser reduzidas com o uso de tratamentos adequados, como sanitizantes e agentes antioxidantes. Em vista disso, procurou-se nesse trabalho avaliar a qualidade da cana-de-açúcar minimamente processada, tratada com antioxidantes e radiação gama. Os tratamentos aplicados para a conservação dos toletes de cana-de-açúcar foram: ácido cítrico nas concentrações de 1,5% e 3,0%; cloridato de L-cisteína a 1,0% e 2,0%; radiação gama com as doses de 2,0 e 4,0 kGy. Antes de receberem os tratamentos, os toletes de cana-de-açúcar foram processados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio. Após a drenagem, os toletes foram acondicionados em embalagens de polietileno de alta densidade e refrigerados a 4°C. Os produtos foram analisados após 1, 7 e 14 dias de armazenamento. Todos os tratamentos apresentaram-se em condições sanitárias adequadas para o consumo, independente das concentrações e dosagens. Os toletes de canas-de-açúcar tratados com ácido cítrico e cloridrato de L-cisteína apresentaram os melhores resultados quanto à inibição das enzimas de escurecimento, polifenoloxidase e peroxidase, sendo a cana-de-açúcar tratada com L-cisteína a que apresentou o caldo com melhores resultados quanto à inibição de seu escurecimento e níveis de açúcares. Todos os tratamentos inibiram o desenvolvimento de microrganismos.

Palavras-chave: Ácido cítrico. Cloridato de L-cisteína. Polifenoloxidase. Peroxidase.

ABSTRACT

SPOTO, R. F. **Effects of antioxidants and gamma radiation on the quality of minimally processed sugarcane**. 2019. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

Sugar cane is a well-accepted food for the general population and can be consumed in the form of straw (in natura) or in the form of juice, which can be enjoyed with ice only, or added with citrus juice, but always treated with some sanitizing agent or other product to maintain its quality. Sugarcane can also be consumed in the form of minimally processed, sanitized and packaged sugarcane, improving its use in food networks. Unless, minimal processing of vegetables increases susceptibility to microorganism attack and enzymatic browning, but such changes can be reduced with the use of appropriate treatments such as sanitizers and antioxidants. The aim of this work was to evaluate the quality of minimally processed sugar cane treated with antioxidants or gamma radiation. The treatments applied for the preservation of sugarcane straw were: citric acid at concentrations of 1.5% and 3.0%; L-cysteine at concentrations of 1.0% and 2.0%, and gamma irradiation at doses of 2.0 and 4.0 kGy. Before receiving the treatments, the sugar cane straws were processed and sanitized with sodium hypochlorite solution. After draining, the straws were packed in high-density polyethylene packages and refrigerated at 4°C. The products were analyzed after 1, 7 and 14 days of storage. All treatments were in sanitary conditions suitable for the consumption, independent of the concentrations and dosages. The sugarcane treated with citric acid and L-cysteine presented the best results regarding the inhibition of the darkening enzymes, polyphenoloxidase and peroxidase. Sugarcane treated with L-cysteine presented the juice with better sugar levels and inhibition of browning. All treatments showed effective inhibition of the microorganisms development.

Keywords: Citric acid. L-cysteine hydrochloride. Polyphenoloxidase. Peroxidase.

LISTA TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente processada, submetida a diferentes concentrações de ácido cítrico	38
Tabela 2 Médias e desvios padrões das variáveis POL, ART e AR de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico (0%, 1,5%, 3%) e armazenada por 14 dias.....	39
Tabela 3 Médias e desvios padrões das variáveis TSS, ATT, Ratio e pH de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico (0,0%, 1,5%, 3,0%) e armazenada por 14 dias ..	41
Tabela 4. Médias e desvios padrões das variáveis IE, PPO, POD e compostos fenólicos de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico (0,0%, 1,5%, 3,0%) e armazenada por 14 dias.....	43
Tabela 5. Resultados das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente submetida a diferentes concentrações de cloridrato de L-cisteína	44
Tabela 6. Médias e desvios padrões das variáveis POL, ART e AR de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com L-cisteína (0%, 1,0%, 2,0%) e armazenada por 14 dias	45
Tabela 7. Médias e desvios padrões das variáveis TSS, ATT, Ratio e pH de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com L-cisteína (0,0%, 1,0%, 2,0%) e armazenada por 14 dias.....	46
Tabela 8. Médias e desvios padrões das variáveis IE, PPO, POD e compostos fenólicos de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com L-cisteína (0,0%, 1,0%, 2,0%) e armazenada por 14 dias.....	48
Tabela 9. Resultados das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente submetida a diferentes doses de irradiação	49
Tabela 10. Médias e desvios padrões das variáveis POL, ART e AR de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com irradiação gama (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy) e armazenada por 14 dias	51
Tabela 11. Médias e desvios padrões das variáveis TSS, ATT, Ratio e pH de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com irradiação gama (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy) e armazenada por 14 dias.....	52
Tabela 12. Médias e desvios padrões das variáveis IE, PPO, POD e compostos fenólicos de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com irradiação gama (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy) e armazenada por 14 dias.....	53
Tabela 13. Coeficientes de correlação e significância entre os atributos da cana-de-açúcar tratada com diferentes concentrações de ácido cítrico e armazenada por diferentes períodos	55
Tabela 14. Coeficientes de correlação e significância entre os atributos da cana-de-açúcar tratada com diferentes concentrações de L-cisteína e armazenada por diferentes períodos.....	55
Tabela 15. Coeficientes de correlação e significância entre os atributos da cana-de-açúcar tratada com diferentes doses de radiação e armazenada por diferentes períodos	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1. Cana-de-açúcar.....	19
3.2. Processamento Mínimo	19
3.3. Escurecimento Enzimático	21
3.4. Agentes antioxidantes	22
3.5. Irradiação	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1. Colheita e Transporte.....	27
4.2. Recepção dos colmos na Planta Piloto e Processamento.....	27
4.2.1. Lavagem dos colmos	27
4.2.2. Raspagem dos colmos – retirada da casca.....	27
4.2.3. Corte em toletes.....	27
4.2.4. Lavagem dos toletes	28
4.2.5. Sanitização dos toletes	28
4.2.6. Aplicação de Tratamentos.....	28
4.2.7. Acondicionamento	28
4.2.8. Irradiação gama	29
4.2.9. Armazenamento.....	29
4.3. Análises Físico-Químicas	31
4.3.1. Sacarose aparente (POL).....	32
4.3.2. Açúcar Redutor Total (ART) e Redutor (AR)	32
4.3.3. Teor de Sólidos Solúveis (TSS).....	34
4.3.4. Acidez Total Titulável (ATT).....	34
4.3.5 Ratio	34
4.3.6. pH	35
4.3.7. Índice de escurecimento.....	35
4.3.8. Atividades das enzimas Polifenoxidase (PPO) e Peroxidase (POD).....	35
4.3.9. Compostos fenólicos totais	36
4.4. Análises Microbiológicas.....	29
4.4.1. Análise de presença de <i>Salmonella</i>	30
4.4.2. Número Mais Provável (NMP) de coliformes termotolerantes	30
4.4.3. Contagem de microrganismos psicrotróficos.....	31
4.5. Delineamento experimental e análise estatística dos resultados.....	37

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1. Experimento com ácido cítrico	38
5.1.1. Variáveis Físico-Químicas	38
5.1.2 Análises Microbiológicas	38
5.2 Experimento com cloridrato de L-cisteína	44
5.2.1 Variáveis Físico-Químicas	44
5.2.2 Análises Microbiológicas	44
5.3 Experimento com Irradiação gama.....	49
5.3.1 Variáveis Físico-Químicas.....	49
5.3.2. Análise Microbiológica	49
5.4. Estudo da correlação entre as variáveis para os tratamentos aplicados.....	54
6. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é conhecida por suas características peculiares: uma gramínea com folhas grandes, podendo alcançar até seis metros de altura. É com ela que se fazem dois produtos essenciais para a economia mundial: o açúcar, parte indispensável da alimentação humana, e o álcool, utilizado em bebidas como a cachaça ou o etanol como combustível (NOVACANA, 2016).

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira. O Brasil não é apenas o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, mas, também, o primeiro na produção de açúcar e etanol oriundo de cana-de-açúcar, sendo a safra de 2017/2018 em torno 633,26 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

O caldo de cana é uma bebida nutritiva, energética, com sabor agradável, muito popular no Brasil, sendo consumido por pessoas de todas as idades e classes sociais, especialmente nos períodos mais quentes do ano. É obtido por extração em moendas elétricas ou manuais e servido com gelo, podendo ser consumido puro ou adicionado de suco de frutas cítricas, muito comercializado em vias públicas por vendedores denominados de garapeiros (LUBATTI, 1999; SOCCOL; SCHWAB; KATSOKA, 1990). Esse produto pode ser explorado para o crescimento da indústria alimentícia, por ser energético, nutritivo e saboroso, possuindo boa aceitação pelo consumidor.

O comércio de caldo de cana-de-açúcar, bem como dos próprios toletes de cana, poderia ser melhor explorado se sua qualidade higiênico-sanitária fosse melhorada, podendo ser oriunda de cana-de-açúcar minimamente processada, sanitizada e embalada, pronta para o consumo *in natura* ou do caldo extraído, facilitando sua utilização em redes de alimentação.

O processamento mínimo é definido como sendo a operação que elimina as partes não comestíveis dos vegetais, como cascas, talos e sementes, seguido do preparo em tamanhos menores e prontos para consumo imediato ou processamento, em que o vegetal mantém a condição de produto fresco com qualidade e garantia de sanidade (CANTWELL, 1992; DURIGAN, 2000).

Como esta técnica promove injúrias aos tecidos, as mudanças degradativas levam o produto à senescência, podendo resultar em perda de qualidade e vida útil reduzida (WILEY, 1994). Além disso, aumenta a suscetibilidade ao ataque de microrganismos, devido à maior exposição dos tecidos que apresentam nutrientes, acelerando o seu desenvolvimento (CHITARRA, 1999).

Esses efeitos se excedem para cana-de-açúcar minimamente processada, pois esta possui atividade de água e pH elevados que proporcionam o crescimento da flora microbiana (GALLO, 1989). Contudo, as alterações em decorrência do processamento mínimo, como escurecimento e aumento da taxa microbiana, podem ser reduzidas com o uso de tratamentos adequados.

Vários compostos antioxidantes, como os ácidos, ascórbico, cítrico e salicílico, têm sido testados em produtos minimamente processados com o objetivo de evitar perdas de coloração, sabor, aroma e qualidade nutricional. Com exceção do ácido salicílico, os demais produtos citados fazem parte do Compêndio da Legislação Brasileira de Aditivos Alimentares, disponibilizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para uso nos produtos hortícolas (BRASIL, 2013).

Aminoácidos que contêm enxofre, bem como seus derivados, foram estudados como inibidores do escurecimento enzimático (GORNÝ et al., 2002). É o caso da L-cisteína, que contém um grupo tiol, capaz de reduzir quinonas em difenóis, impedindo a formação de pigmentos escuros ou reagindo com quinonas para produzir compostos incolores (RICHARD-FORGET et al., 1992).

O tratamento de frutas e vegetais com radiações ionizantes tem como principal finalidade sua preservação, aumento o período de tempo no qual o alimento ainda estará adequado para o consumo. Esse processo pode envolver a inativação de microrganismos, por alterar suas estruturas moleculares e impedir a divisão celular e o retardo da maturação, ao induzir alterações bioquímicas nos processos fisiológicos do tecido vegetal, atribuindo consideráveis vantagens econômicas ao produto (FIGUEIREDO, 1990; SMITH; PILLAI, 2004).

2. OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa foram aumentar a vida útil e avaliar a qualidade de toletes de cana-de-açúcar minimamente processada, por meio de tratamentos químicos com antioxidantes (ácido cítrico e cloridato de L-cisteína) e tratamento físico com radiação gama.

Com isso, estabelecer o processamento mínimo adequado da cana-de-açúcar como matéria prima, para extração do caldo, facilitando sua utilização em redes de alimentação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, *Saccharum L.*, é historicamente um dos principais produtos agrícolas do Brasil, sendo cultivada desde a época da colonização (SOUZA, 2009). É uma matéria-prima de grande versatilidade e viabilidade econômica, e seu êxito produtivo justifica-se pela fácil adaptação ao clima e solo brasileiros, sendo cultivada em todo território nacional (DEMATTÊ, 2004).

O caldo de cana é uma bebida nutritiva, energética, muito popular no Brasil, retendo todos os nutrientes da cana-de-açúcar, como minerais (3 a 5%) - ferro, cálcio, potássio, sódio, fósforo e magnésio, além de vitaminas dos complexos B e C (FAVA, 2004). Do caldo de cana são feitos o melado e açúcar mascavo. O melado é popularmente indicado como fonte de ferro, pois segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA/UNICAMP, 2006), o teor de ferro em melado é de 5,4 mg.100 g⁻¹ de produto, correspondendo a 39% do valor diário recomendado, segundo a RDC n° 360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003).

A composição química da cana-de-açúcar é influenciada pelo clima, solo, adubação, estágio de desenvolvimento da cultura, variedade, entre outros (DELGADO; CÉSAR, 1977). O caldo de cana, por sua vez, é constituído basicamente por água (75-82%) e sólidos solúveis totais (18-25%), destacando-se entre estes: sacarose (14-23%), glicose (0,2-1,0%) e frutose (0,0-0,5%) e outros componentes orgânicos (0,8-1,5%) constituídos por substâncias nitrogenadas, lipídeos, ceras, pectinas e ácidos orgânicos (aconítico, oxálico, málico, etc.) (STUPIELLO, 1987).

A clorofila e os compostos fenólicos podem determinar a coloração e aceitabilidade do caldo, e suas reações contribuem com a maior porcentagem de formação de compostos de coloração escura no caldo de cana logo após a extração (QUDSIEH et al., 2002).

3.2. Processamento Mínimo

Vegetal minimamente processado é aquele que foi descaracterizado fisicamente, mas mantém o estado de fresco, isto é, embora descascado, picado ou ralado, ele continua com suas atividades fisiológicas, respirando, transpirando e

produzindo etileno. Porém não apresenta as mesmas respostas fisiológicas que o produto não tratado e inteiro, em relação ao meio ambiente e às condições de embalagem (WILEY, 1994).

As alterações fisiológicas nos vegetais minimamente processados ocorrem especialmente devido aos danos nos tecidos. Com o rompimento das células, ocorre um contato maior entre as enzimas e os substratos, induzindo às reações enzimáticas indesejadas, perda de íons e outros compostos celulares e perda de umidade, além de deixá-lo exposto ao ataque de microrganismos deteriorantes ou patogênicos. Portanto, as operações de sanitização, embalagem e refrigeração são fundamentais.

O desenvolvimento de microrganismos patogênicos em vegetais minimamente processados depende de suas características e dos efeitos do processamento, embalagem e armazenamento. O produto passa por uma série de etapas, incluindo manipulação, lavagem, contato com os equipamentos, empacotamento e armazenamento. Cada uma dessas etapas pode interferir no crescimento e sobrevivência dos microrganismos, devendo ser aplicadas práticas de higiene em todas as fases do processamento, incluindo análises microbiológicas no produto final (EMBRAPA, 2006).

Na cana-de-açúcar há predominância de bactérias fermentativas (*Lactobacillus* e *Leuconostoc*) e leveduras (*Saccharomyces*). As temperaturas entre 0 e 5°C podem ampliar a vida útil dos vegetais minimamente processados de 5 a 18 dias. Conseqüentemente, as perdas em características organolépticas podem ser reduzidas, particularmente as provenientes de reações oxidativas nos pigmentos e lipídeos, bem como, a redução da velocidade das oxidações bioquímicas durante a senescência (SCOTT, 1989; WILEY, 1994).

Não existe legislação específica para produtos minimamente processados. Portanto, adota-se a Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, para vegetais, frescos, *in natura*, preparados (descascados, selecionados, fracionados), sanitizados, refrigerados ou congelados, para consumo direto, os quais podem conter a contagem máxima de 10^2 UFC.g⁻¹ para Coliformes a 45°C, e ausência para *Salmonella* sp.

Para a redução da contaminação dos vegetais é primordial a lavagem prévia ao descascamento e sanitização, onde ocorre a remoção da maior parte da contaminação, impedindo que esta atinja as células injuriadas pelo processamento.

A seguir, o vegetal é descascado e cortado, sanitizado novamente em soluções contendo sanitizante, clorado geralmente, podendo-se utilizar antioxidantes para evitar o escurecimento (PILLON, 2007; REYES, 1996). Esses processos reduzem a carga microbiana inicial e, conseqüentemente, a população de patógenos.

O cloro é o desinfetante mais comum utilizado em frutas e hortaliças minimamente processados (DILMAÇÜNAL et al., 2014).

3.3. Escurecimento Enzimático

A manutenção da cor nos vegetais minimamente processados representa aspecto crítico em razão da maioria deles ser susceptível ao escurecimento enzimático, o qual se inicia em resposta a injúrias físicas e fisiológicas (cortes, “chilling”, excesso de CO₂) como resultado da oxidação de compostos fenólicos. (PILON, 2003).

As lesões provocadas durante o processamento mínimo levam ao colapso celular e à conseqüente descompartimentalização dessas células, promovendo o contato dos compostos fenólicos com enzimas associadas ao escurecimento, polifenoloxidase e peroxidase (PORTE; MAIA, 2001; VILAS BOAS, 2002b). O produto final dessa oxidação é a quinona, que rapidamente se condensa, formando pigmentos escuros insolúveis, denominados melaninas (LUPETTI et al., 2005).

A polifenoloxidase (PPO) é a enzima com maior atividade no caldo de cana, contribuindo significativamente para o escurecimento do mesmo (QUDSIEH et al., 2002; BUCHELI; ROBSON, 1994). A PPO é uma oxiredutase que oxida compostos fenólicos (difenois) na presença de oxigênio (O₂). Catalisa duas reações diferentes: a hidroxilação de monofenol em o-dihidroxifenol e a oxidação de o-dihidroxifenol em o-quinona, que irá resultar em melaninas (BUCHELI; ROBSON, 1994).

Acredita-se que a polifenoloxidase (PPO) seja um promotor da atividade da enzima peroxidase (POD), uma vez que o peróxido de hidrogênio é gerado como subproduto durante a oxidação dos substratos fenólicos (TOMAS-BARBERAN; SPIN, 2001).

A POD está relacionada diretamente com os teores de alguns metais como cálcio, cobre, zinco e manganês (BAKARDJIEVA et al., 1997). A peroxidase (POD) catalisa a oxidação dos compostos fenólicos na presença de peróxido de hidrogênio, formando o-quinonas, produtos instáveis que, após a oxidação não enzimática na

presença de O₂, polimerizam-se formando as melaninas. A POD em vegetais causa mudanças negativas de sabor durante o armazenamento, mas em comparação com a PPO, tem menor influência no escurecimento de caldo de cana (RAMPAZO, 2011).

A clorofila e os compostos fenólicos podem determinar a coloração e a aceitabilidade do caldo, e as suas reações contribuem com a maior porcentagem de formação de compostos de coloração escura no caldo de cana logo após a extração (BUCHELI; ROBSON, 1994).

3.4. Agentes antioxidantes

Um método interessante para reduzir as perdas ao longo do tempo de armazenamento e durante o processamento tem sido a imersão em soluções antioxidantes contendo ácidos orgânicos, cisteína, 4-hexilresorcinol entre outros (PÉREZ-GAGO et al., 2010; BARBAGALLO et al., 2012).

Os antioxidantes objetos do presente estudo são o ácido cítrico e o cloridrato de L-Cisteína, agentes de uso constante em trabalhos de conservação de frutas e hortaliças, como banana “maça” (MELO et al., 2007), pêssegos minimamente processados (COSTA et al., 2010), entre outras frutas e hortaliças.

O ácido cítrico é o principal agente acidulante utilizado na indústria alimentícia para prevenção do escurecimento, por possuir capacidade de bloquear a atividade da enzima tirosinase através da sua ação quelante e da redução do pH, além de ser sensorialmente aceito pela maioria dos consumidores quando utilizado a reduzidas concentrações (ROCCULI et al., 2007; MODA et al., 2005).

Os sinergistas são antioxidantes com pouca ou nenhuma atividade quando estão sozinhos, mas podem aumentar a atividade dos antioxidantes primários quando usados em combinação adequada (DOSSIÊ ANTIOXIDANTE, 2009). A aplicação de ácido cítrico em associação a outros ácidos tem apresentado resultados satisfatórios em produtos minimamente processados, tanto em relação à prevenção do escurecimento enzimático quanto na redução da carga microbiana (CORDEIRO, 2018).

A L-cisteína tem sido utilizada com eficácia na conservação de alimentos minimamente processados, como banana (MELO; VILAS-BOAS, 2006; MELO; VILAS-BOAS, 2007), maçãs e batatas (MOLNAR-PEARL; FRIEDMAN, 1990; ROCCULI et al., 2007). A L-cisteína pode atuar como inibidor da síntese ou da ação de enzimas ligadas à oxidação dos polifenóis, ou agir como adsorvente dessas

substâncias (GOULART et al., 2010). De acordo com Ramos et al. (2013), a L-cisteína teve um importante papel na inibição da peroxidase sobre a conservação de raízes de mandioca *in natura*.

3.5. Irradiação

A irradiação surgiu na década de 1940 como alternativa para o aumento da vida útil dos alimentos. A irradiação de alimentos é um dos tratamentos mais estudados e avaliados devido principalmente à controvérsia que a acompanha; o receio da geração de resíduos e a contaminação por eles. O tratamento por irradiação, quando devidamente controlado, não altera fisicamente a aparência, a forma ou a temperatura dos produtos, provocando alterações químicas insignificantes nos alimentos (VERRUMA-BERNARDI; SPOTO, 2003).

O processo consiste na exposição de alimentos por um tempo pré-fixado a uma fonte de radiação ionizante selada, com o propósito de reduzir a contaminação de microrganismos, eliminação de pragas e no retardo da senescência dos vegetais aumentando assim a sua vida útil. As vantagens da irradiação perante o métodos tradicionais são a possibilidade dos alimentos poderem ser irradiados logo após a colheita e também quando embalados, não aumentando a temperatura dos mesmos, conservando seu estado fresco (FIGUEIREDO, 1990; SMITH; PILLAI, 2004).

Dentre todas as variáveis controladas em irradiação de alimentos, a dose é a mais importante. Conforme o International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU, 2012), a dose absorvida é dada em Joule por quilograma de matéria, sendo a unidade internacional o Gray (Gy) (DIEHL, 1995; PEREDA, 2005).

Na indústria de alimentos, os tratamentos com radiações ionizantes foram classificados em três categorias de acordo com a dose aplicada, permitindo, assim, agrupar de forma mais precisa os efeitos e os objetivos alcançados. As “doses altas”, entre 10 e 50 kGy, são utilizadas para a esterilização dos produtos. As “doses médias”, entre 1 e 10 kGy, possuem o mesmo efeito da pasteurização, atribuindo aos alimentos extensão de sua vida útil. As “doses baixas”, de até 1 kGy, são aplicadas no controle da infestação dos produtos por parasitas e insetos, e para retardar a senescência em frutas frescas e o brotamento em vegetais (ANDREWS et al., 1998; PEREDA, 2005).

Segundo a International Atomic Energy Agency, a irradiação impede a divisão de células vivas como bactérias e células de organismos superiores, pois altera suas estruturas moleculares, além de inibir a maturação de alguns vegetais ao induzir alterações bioquímicas nos processos fisiológicos dos tecidos (IAEA, 1991).

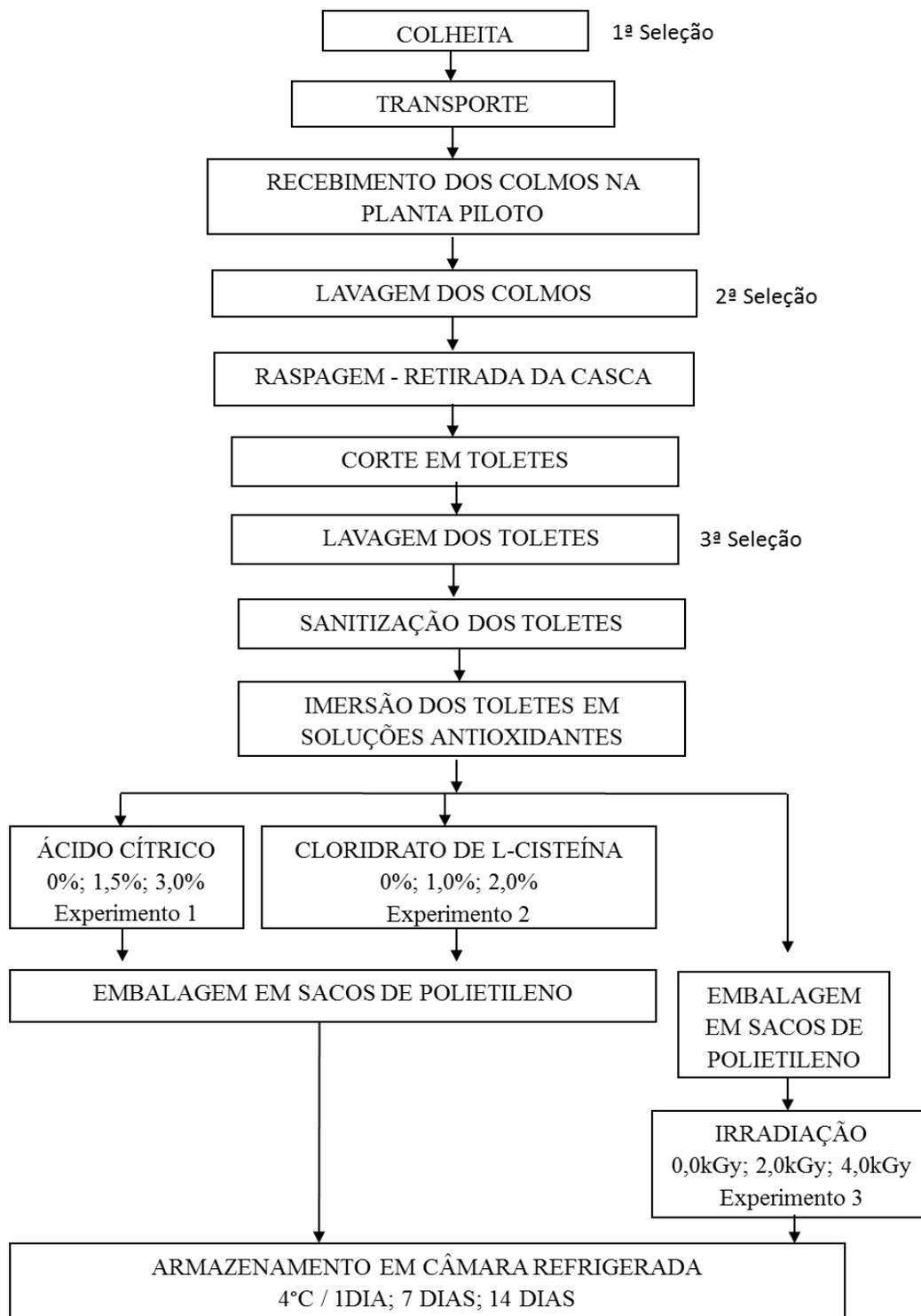
Conforme Gonçalves et al. (2006), a estrutura dos pigmentos antocianicos em acerola não sofreu alteração, após tratamento com radiação gama com doses de 2, 3 e 4 kGy, as polpas apresentaram ausência de *Salmonella* e Coliformes a 45°C após 12 dias de estocagem à temperatura ambiente. Oliveira et al. (2007) avaliaram o tratamento com radiação gama com 2,5 kGy em caldo de cana-de-açúcar, tendo observado que a radiação não alterou a composição física e química, o aroma, nem o sabor da bebida.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (LIARE/CENA) da Universidade de São Paulo (USP); nos laboratórios de Frutas e Hortaliças, e Tecnologia e Qualidade de Bebidas (LTQB) e na Planta Piloto do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição (LAN) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) – USP. A irradiação foi efetuada no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) – CNEN (São Paulo, SP).

O projeto foi desenvolvido em três experimentos, constituindo cada experimento um agente antioxidante (ácido cítrico ou cloridrato de L-cisteína) e radiação gama, experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. Os experimentos seguiram o mesmo modelo de processamento, conforme apresenta o fluxograma da Figura 1.

Figura 1. Fluxograma do processamento mínimo de cana-de-açúcar, submetida aos tratamentos com ácido cítrico, cloridrato de L-cisteína e irradiação



4.1. Colheita e Transporte

Para os experimentos, foi utilizada a cultivar IACSP95 5000 de cana-de-açúcar, obtida da Fazenda da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) - Polo Centro Sul, localizada na cidade de Piracicaba – SP, uma cultivar de maturação no meio e no final de safra, e elevados teores de açúcares. A colheita da cana foi realizada no período da manhã, onde foi feita a primeira seleção com a retirada dos colmos com sinais de pragas e doenças. Em seguida, a cana foi transportada até a planta piloto do LAN, onde se realizou o processamento mínimo.

4.2. Recepção dos colmos na Planta Piloto e Processamento

Na Planta Piloto do LAN, os colmos foram colocados na área de lavagem, separada da área de processamento, a qual foi previamente higienizada com desinfetante clorado e etanol 70% e climatizada a 18°C. Os manipuladores estavam paramentados com toucas, luvas e jalecos.

4.2.1. Lavagem dos colmos

A primeira lavagem foi realizada com água e detergente neutro (2,5ml.L⁻¹), com o auxílio de uma esponja com face abrasiva, a fim de retirar os resíduos de terra e fuligem, seguida de enxague em água corrente. Nessa fase, ocorreu a segunda seleção, com descarte de colmos danificados não observados na primeira seleção.

4.2.2. Raspagem dos colmos – retirada da casca

Os colmos sofreram raspagem com auxílio de esmeril rotativo Maqtron, para a retirada da casca dura e cerosa. Nessa fase, houve nova seleção, retirando os rachados e danificados.

4.2.3. Corte em toletes

Os colmos foram cortados manualmente em toletes de 40 cm de comprimento, utilizando-se serrote do tipo “tico-tico”. Os toletes foram dimensionados para caber na máquina de extração e rendimento de um copo (250mL) de suco.

4.2.4. Lavagem dos toletes

Os toletes sofreram lavagem superficial em água corrente com o auxílio de uma esponja, a fim de retirar possíveis resíduos do descascamento e corte.

4.2.5. Sanitização dos toletes

A sanitização foi realizada pela imersão dos toletes em solução com sanitizante clorado específico para hortifrutícolas, da marca StartClor®, com concentração de 200 mg.L⁻¹ por 10 minutos. Após, foram drenados por dois minutos em peneiras de aço inox de 60cm de diâmetro, com 3,5mm de abertura da malha, antes de serem imersos nas soluções antioxidantes.

4.2.6. Aplicação de Tratamentos

Após a sanitização, parte dos toletes foram imersos em bandejas com 8 litros de solução antioxidante durante 10 minutos e drenados novamente em peneiras de aço inoxidável por 5 minutos. As soluções antioxidantes foram ácido cítrico e cloridrato de L-cisteína, para os experimentos 1 e 2, respectivamente. O experimento 3 envolveu apenas a embalagem após a sanitização, realizada previamente à irradiação. Cada experimento consistiu de três níveis de concentrações e doses:

- Experimento 1: solução de ácido cítrico: 0,0%; 1,5% e 3,0%.
- Experimento 2: solução de cloridrato L-cisteína: 0,0%; 1,0% e 2,0%.
- Experimento 3: irradiação com doses: 0,0 kGy; 2,0 kGy e 4,0kGy, realizada nos toletes embalados.

4.2.7. Acondicionamento

Após os processos de imersão nas soluções antioxidantes (experimentos 1 e 2) e imersão em sanitizante apenas (experimento 3), os toletes foram embalados em sacos de polietileno com 60 x 40 x 0,2 mm de espessura, na quantidade de 6 a 7 toletes por embalagem. Em seguida, as embalagens foram seladas em seladora manual de pedal marca Cetro.

4.2.8. Irradiação gama

A irradiação dos toletes do experimento 3 foi feita em irradiador de Cobalto-60, multipropósito, categoria IV, com controle de acesso restrito e fonte armazenada em piscina de estocagem, blindada com água deionizada. Para o processo de irradiação, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor e sinalizadas com a dose desejada (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy), sendo um isopor para cada dose de irradiação, e lacradas com fita adesiva para a manutenção da temperatura de refrigeração. O transporte até o IPEN foi feito em veículo particular, totalizando 5 (cinco) horas de viagem, no percurso Piracicaba – São Paulo – Piracicaba. O controle (0 kGy) também sofreu o mesmo percurso.

No momento da irradiação, a taxa de dose foi de 18,2 Gy min⁻¹. As caixas de isopor foram posicionadas a 50 cm do protetor da fonte de Cobalto 60. A irradiação de todas as caixas durou 3 horas e 40 minutos. Utilizou-se dosímetro Amber 3042 Batch S Type 3042, com leitura realizada em espectrofotômetro Genesys 20 a 603 nm para confirmação das doses aplicadas em cada caixa.

Após a irradiação e transporte, já na Planta de Processamento de Alimentos – LAN/ESALQ/USP, os colmos foram mantidos a 4°C e 90% de umidade relativa (UR) em Câmara de Refrigeração.

4.2.9. Armazenamento

Os toletes foram armazenados em câmara fria a 4°C por 1, 7 e 14 dias; quando eram retirados para as avaliações microbiológicas, físico-químicas e enzimáticas.

4.3. Análises Microbiológicas

As análises de contagem total de microrganismos psicotróficos foram realizadas de acordo com Downes e Ito (2001). Para a determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes utilizou-se o kit Simplate (Biocontrol®) e a detecção de *Salmonella* sp foi realizada por meio de kit rápido 1,2-Test (Biocontrol®). Para cada um dos períodos avaliados, foi utilizada uma amostra da cana-de-açúcar minimamente processada, retirada de cada repetição por tratamento e período de armazenamento, seguindo-se os padrões preconizados

pela resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº12 de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2001).

4.3.1. Análise de presença de *Salmonella*

As análises para a detecção de *Salmonella* sp foram realizadas com o uso do “kit” 1-2 Test®, fabricado pela *Bio Control* (EUA), método oficial aprovado pela AOAC (2000).

O preparo da análise de *Salmonella* sp seguiu as orientações recomendadas pelo fabricante (Biocontrol). Foram pesados 25g da amostra, adicionados a 225mL de água peptonada. Em seguida, foi realizada a homogeneização da amostra para o experimento em copos de liquidificador de aço inoxidável previamente esterilizados. No preparo do experimento, foi adicionada uma gota de solução de iodo-iodeto na câmara de inoculação do kit 1-2 test®, na qual posteriormente foi transferido 0,1mL da amostra na câmara. Em seguida, na câmara de motilidade foi feito o corte da ponta da tampa branca e adicionada uma gota da solução de anticorpos preenchendo dois terços do gel; após o procedimento, a amostra foi incubada a 35°C por 24 horas. O resultado positivo é indicado pela presença de uma imunobanda na metade superior do gel. A análise é considerada negativa quando nenhuma banda é observada após incubação por, pelo menos, 14 horas (BIOCONTROL, 2006).

4.3.2. Número Mais Provável (NMP) de coliformes termotolerantes

A contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* foi realizada utilizando-se o kit Simplate (Biocontrol), metodologia validada pela *Association of Official Analytical Chemists Internacional* (AOAC, 2000). Essa metodologia baseia-se na Tecnologia de Detecção Binária (BDT), que equaciona a presença de coliformes totais com a mudança de coloração do meio e a contagem de termotolerantes com a mudança de cor e fluorescência azulada devido à ação de enzima. A mistura da amostra com o meio é adicionada na placa, sendo incubada por 24-28 h. A contagem de coliformes totais e coliformes termotolerantes é obtida pela contagem das cavidades que apresentam mudança de cor (BIOCONTROL, 2006).

No momento das análises, as amostras de cana minimamente processadas foram acondicionadas à temperatura ambiente, então foram pesados 50g de cada

amostra e adicionados a 450mL de água peptonada (1ª diluição) e em seguida dado início ao preparo das demais diluições, transferindo-se 1mL da 1ª diluição para um tubo contendo 9mL de água peptonada, até a 3ª diluição. Assim, uma alíquota de 1mL da 1ª diluição foi transferida para o centro da placa Simplate® e em seguida adicionados 9mL do meio *Simplite* previamente hidratado. A placa foi fechada e movida lentamente, de maneira circular, a fim de se distribuir e preencher todas as cavidades da placa. O excesso foi removido inclinando-se a placa de modo a captar o restante de amostra em algodão, constituinte da placa *Simplite*®. Logo após, foi realizada incubação da placa na posição invertida por 24 horas.

4.3.3. Contagem de microrganismos psicotróficos

Para determinação de microrganismos psicotróficos nos tratamentos, utilizou-se o meio PDA (Potato Dextrose Agar), seguindo as instruções do fabricante, de 23,5g em 1000mL de água destilada, seguido de homogeneização e aquecimento, com posterior autoclavagem.

A análise foi realizada pelo método de contagem-padrão em placas determinando o número de unidades formadoras de colônias (UFC/g). Cinquenta gramas (50g) de amostra de cada tratamento foram inseridas em 450mL de água peptonada, seguindo a diluição 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} . Em seguida, uma alíquota de 1mL de cada diluição foi adicionada em placas de Petri estéreis, adicionando-se 20mL de meio de cultura já acidificado com ácido tartárico 10% (1,5mL de ácido para cada 100mL de meio). Depois do meio solidificado, as placas foram incubadas em posição invertida por sete dias em estufa a 7°C. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônia por grama de amostra (UFC/g).

4.4. Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia – LIARE – CENA/USP e nos laboratório de Tecnologia de Qualidade de Bebidas - LTQB e Frutas e Hortaliças do LAN/ESALQ/USP, nos períodos de 1, 7 e 14 dias após o processamento.

Para as análises químicas o caldo foi extraído em moenda de cana Elétrica Maqtron Express 1/2 Cv Monofásica 220V, capacidade para 20 L/h.

Em cada período de armazenamento, o caldo era coletado em béqueres de 2L. Após a coleta, o caldo era dividido em duas garrafas de polietileno de 500LI, para cada repetição. Uma garrafa era direcionada ao LTQB para as análises de sacarose aparente (POL), açúcar redutor total (ART), açúcar redutor (AR), teor de sólidos solúveis (TSS) e acidez total titulavel (ATT), Maturação (*Ratio*) e potencial hidrogeniônico (pH) e outra direcionada para o Laboratório de Frutas e Hortaliças, onde eram feitas as análises de escurecimento (I.E), enzimáticas (polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD) e compostos fenólicos totais). As análises eram realizadas em triplicata para cada repetição.

4.4.1. Sacarose aparente (POL)

A avaliação da sacarose aparente (Pol) do caldo foi determinada de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998), por meio de leitura em sacarímetro, utilizando-se subacetato de chumbo como agente clarificante. O valor da Pol foi calculado pela equação:

$$\text{Pol} = (0,26 \cdot \text{LPb}) / \text{me} \quad (1)$$

Onde:

LPb = leitura sacarimétrica equivalente a de subacetato de chumbo

me = massa específica do caldo = $[0,00431 \times \text{TSS} (\text{°Brix})] + 0,99367$

4.4.2. Açúcar Redutor Total (ART) e Redutor (AR)

A análise de Açúcares Redutores compreende a medida de glicose e frutose presentes em uma solução açucarada e a análise de Açúcares Redutores Totais compreende a medida da Sacarose invertida por meio ácido a quente, mais os açúcares redutores originais na amostra.

As análises de açúcar redutor total e açúcar redutor foram adaptadas da metodologia descrita por Lane-Eynon, publicada na Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986 no Diário Oficial, sugerida pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

4.4.2.1. Açúcar Redutor Total (ART)

Para análise da ART, a inversão da sacarose foi realizada por hidrólise ácida, utilizando-se 20mL de caldo de cana-de-açúcar e completando-se o volume final para 200mL com água destilada. Da solução diluída, foram retirados 20mL e colocados em balão de 200mL, adicionados a 20mL de água destilada. O balão foi aquecido a 65°C, recebeu a adição de ácido clorídrico 6,34N. Em seguida, o sistema foi resfriado à temperatura ambiente e recebeu solução de hidróxido de sódio a 20% até atingir seu ponto de viragem. A solução foi resfriada e o volume do balão completado a 200mL.

No REDUTEC, equipamento aplicável em análises de açúcares pelo princípio da destilação com Fehling A e B, marca MARCONI, Modelo MA086, adicionou-se a solução de Fehling, em seguida uma quantidade da solução preparada de acordo com o Teor de Sólidos Solúveis, para a diluição de 1g em 100mL da solução final. Após, titulou-se gota-a-gota a solução contida na bureta até a viragem da cor (azul para vermelho tijolo), anotando-se o volume.

Para uma diluição de 1g em 100mL da solução final:

$$\text{ART\% caldo misto} = \frac{496,4404}{vxf} + 0,605 \quad (2)$$

onde:

v = Volume gasto na titulação, mL

f = Fator de correção do Licor de Fehling

4.4.2.2. Açúcar Redutor (AR)

O caldo foi filtrado e diluído para uma solução de 20%, a seguir foram adicionados 10mL da solução de Fehling no REDUTEC e aquecidos. Essa solução foi resfriada e titulada até a cor da viragem (azul para vermelho tijolo), anotando-se o volume gasto. O processo foi repetido, adicionando à câmara além dos 10mL da solução de Fehling, o volume gasto na titulação anterior menos 1mL (Vq-1), aquecendo-se e titulando a solução até a viragem da cor (azul para vermelho tijolo), anotando-se o volume gasto.

Para o cálculo do AR (%), utilizou-se a fórmula:

$$\text{A.R. \% caldo} = \frac{f \times (5,2096 - 0,2625 \sqrt[3]{\frac{0,26 \times L \times V}{500}})}{V \times (0,00431 \times \text{Brix} + 0,99367)} \quad (3)$$

onde:

f = Fator de diluição

v = Volume gasto na bureta corrigido (mL)

me = Massa específica do caldo, dada por:

$$me = 0,00431 \times \text{TSS CE} + 0,99367$$

onde: TSS = teor de sólidos solúveis do caldo, expresso em °Brix, válido para concentrações entre 9 e 23°Brix

fx = Fator de diluição, dado por:

$$f = 5,2096 - 0,2625 \times \sqrt[3]{\frac{0,26 \times L \times V}{500}}$$

onde:

L = Leitura sacarimétrica do caldo

V = Volume gasto corrigido (mL)

4.4.3. Teor de Sólidos Solúveis (TSS)

Determinado por meio de leitura direta em refratômetro digital de mesa da marca Atago, modelo Palete 101. Os resultados foram expressos em °Brix, conforme metodologia estipulada pela Association of Official Analytical Chemists Internacional (AOAC, 2005).

4.4.4. Acidez Total Titulável (ATT)

Determinada e calculada a partir do volume em mililitros de NaOH 0,1N, requeridos para titular 10mL de amostra até pH 8,12 segundo método nº 942.15 da AOAC (2005). Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico.g⁻¹.

4.4.5 Ratio

Foi determinado dividindo-se o teor de sólidos solúveis (TSS) pela acidez total titulável (ATT). Os resultados expressam o grau de maturação e grau de doçura da cana-de-açúcar.

4.4.6. pH

A análise foi realizada utilizando-se pHmetro digital, com eletrodo de vidro, marca Tecnal, modelo Tec-2, conforme indicado pela AOAC (2005).

4.4.7. Índice de escurecimento

O índice de escurecimento (IE) foi determinado a partir dos valores de L, a* e b* conforme a Equação (FONTES et al., 2008):

$$IE = [100 (X - 0,31)] / 0,172 \quad (4)$$

Onde $X = (a^* + 1,75L)/(5,645L + a^* - 3,02b^*)$

Os valores L, a* e b*, correspondem à Luminosidade (L) - no intervalo de 0 (preto) a 100 (branco) e índices de cor a* - no intervalo de +60 (vermelho) a -60 (verde) e b* - no intervalo de +60 (amarelo) a -60 (azul). Esses valores foram medidos utilizando-se o colorímetro Chroma Meter CR-400 de 8 mm de diâmetro e iluminante padrão CIE C, da marca Konica Minolta Sensing (Tokio, Japão). O aparelho foi previamente calibrado em superfície branca de acordo com a Comissão Internacional de Iluminação (CIE 1976 L*, a*, b* – CIELAB) (KONICA MINOLTA, 1998). Foram realizadas 3 leituras em cada amostra de caldo de cana-de-açúcar.

4.4.8. Atividades das enzimas Polifenoloxidase (PPO) e Peroxidase (POD)

A preparação dos extratos enzimáticos e as determinações das atividades da polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) foram adaptadas da metodologia descrita por Cano et al. (1997) conforme as condições do experimento.

Amostras de caldo de cana-de-açúcar (30g) foram centrifugadas a 8.000g durante 20 minutos em centrífuga refrigerada a 4°C da marca Eppendorf - 5810-R (Hamburgo, Alemanha). O sobrenadante foi retirado e armazenado em tubos de vidro com tampa de rosca.

Primeiramente, foi feito um extrato a partir de 2mL do sobrenadante do material centrifugado mais 10mL de solução tampão fosfato 0,2M (pH 7,0) e 0,1g de polivinilpirrolidona (PVPP) em tubos de ensaio de vidro com tampa de rosca.

A solução foi homogeneizada em vortex Biomixer - QL-901 (São Paulo - SP, Brasil) e armazenada em refrigeração até o momento da avaliação da atividade das enzimas PPO e POD.

A atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) foi verificada a partir da tomada de 0,3mL do extrato, que foram colocados em tubo de ensaio de vidro, com posterior acréscimo de 4,0mL de solução de catecol 0,11M em tampão fosfato de sódio 0,05M pH 7,0. Imediatamente o tubo foi agitado em Vortex, e realizada averiguação da absorbância a 420nm em espectrofotômetro Femto – 432C (São Paulo - SP, Brasil) no tempo zero e após 3 minutos.

Para a avaliação da atividade da peroxidase (POD), retirou-se uma porção de 0,3mL do extrato e, em seguida, colocada em tubo de ensaio. A ela foram adicionados 5mL de tampão fosfato de sódio 0,05M (pH 7,0), 0,1mL de peróxido de hidrogênio 1,5% e mais 0,2mL de fenilenodiamina 1%. A amostra foi imediatamente homogeneizada em Vortex e realizada a leitura da absorbância a 485nm no espectrofotômetro no tempo zero e após 3 minutos.

Os resultados, tanto de PPO quanto de POD, foram expressos em Atividade Enzimática por minuto por mL de amostra ($AE \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1}$).

4.4.9. Compostos fenólicos totais

Amostras de caldo de cana (30g) foram centrifugadas a 8.000g durante 20 minutos em centrífuga refrigerada a 4°C da marca Eppendorf - 5810-R (Hamburgo, Alemanha). O sobrenadante do material centrifugado foi utilizado para quantificação de compostos fenólicos totais pelo método desenvolvido por Singleton e Rossi (1965).

Primeiramente, empregando-se como padrão o ácido gálico, foi realizada a definição da curva padrão ($y=ax+b$, onde y é a absorbância a 765nm e x é a concentração de ácido gálico em $\mu\text{g}/0,5\text{mL}$ de amostra) que foi a base do cálculo final de compostos fenólicos, levando-se em consideração as diluições utilizadas do material.

Para cada amostra, diluiu-se 1mL do sobrenadante em 100mL de água destilada em balão volumétrico. Desta solução, retirou-se 0,5mL que foi colocado em tudo de ensaio de vidro, no qual foram acrescentados 2,5mL de reagente Folin–Ciocalteu 10%, homogeneizou-se a solução em vortex Biomixer - QL-901 (São Paulo, SP, Brasil), e após 5 minutos foram adicionados 2mL de solução de

carbonato de sódio 4% e homogeneizados novamente. A solução foi incubada à temperatura ambiente ao abrigo da luz durante duas horas, sendo realizada, em seguida, a aferição das amostras em absorbância a 765nm em espectrofotômetro Femto – 432C (São Paulo - SP, Brasil). Os valores de absorbância foram inseridos na referida equação, e os resultados finais foram expressos em mg de ácido gálico.100 g⁻¹ de caldo de cana-de-açúcar.

4.5. Delineamento experimental e análise estatística dos resultados

O delineamento experimental adotado para cada experimento (ácido cítrico, L-cisteína e irradiação) foi esquema fatorial 3 x 3 (3 concentrações de antioxidantes ou doses de radiação x 3 períodos de armazenamento - 1, 7 e 14 dias), com três repetições para cada tratamento.

Os dados (exceto das análises microbiológicas) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e os resultados entre os tratamentos e entre períodos de armazenamento foram comparados, para cada experimento, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), usando software estatístico SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2008). As correlações dos pares de variáveis também foram realizadas de acordo com Sounis (1975) através do programada SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2008).

Para as análises microbiológicas, os resultados foram comparados com os padrões recomendados pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 12 de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), legislação vigente (BRASIL, 2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimento com ácido cítrico

5.1.1 Análises Microbiológicas

Os resultados obtidos das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico encontram-se na Tabela 1, não se observou crescimento de psicrotróficos ou microrganismos patogênicos, *Salmonella* sp e coliformes termo tolerantes. Tal fato indica que o experimento foi realizado dentro dos parâmetros adequados de higiene e sanitização, resultando em um produto final de qualidade satisfatória para o consumo.

Tabela 1. Resultados das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente processada, submetida a diferentes concentrações de ácido cítrico

Dias	<i>Salmonella</i> spp./ 25g			Coliformes a 45°C (UFC/g)			Psicrotróficos (UFC/g)		
	0,0%	1,5%	3,0%	0,0%	1,5%	3,0%	0,0%	1,5%	3,0%
0	Ausente	Ausente	Ausente	< 10	< 10	Ausente	< 10	< 10	Ausente
7	Ausente	Ausente	Ausente	< 10	< 10	Ausente	< 10	< 10	Ausente
14	Ausente	Ausente	Ausente	< 10	< 10	Ausente	< 10	< 10	Ausente

5.1.2. Variáveis Físico-Químicas

As médias e os desvios padrões das variáveis físico-químicas da cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico se encontram nas Tabelas 1 a 3. As variáveis POL, açúcar redutor total (ART) (Tabela 2) e teor de sólidos solúveis (TSS) (Tabela 3), que determinam os valores de açúcares no caldo, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, mantendo a doçura característica do caldo de cana. Os compostos fenólicos (Tabela 4), também não apresentou diferença significativa. Já as variáveis, açúcar redutor (AR) (Tabela 2), índice de escurecimento (IE) e enzimas, polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) (Tabela 4) apresentaram diferenças

significativas entre tratamentos e períodos de armazenamento. As variáveis pH, acidez total titulável (ATT) e o *ratio* (Tabela 3) apresentaram variações significativas somente entre tratamentos.

O açúcar redutor (AR) que determina a quantidade de monossacarídeos (glicose e frutose principalmente) teve para a concentração de 1,5% de ácido cítrico no 7º dia de armazenamento seu menor valor, diferenciando estatisticamente do valor encontrado para a mesma concentração no 1º dia de armazenamento. Também, aos 14 dias, as amostras tratadas com 3,0% de ácido cítrico apresentaram maior teor de açúcar redutor, diferindo do controle nesse mesmo período, isso é devido ao ácido proporcionar a quebra da ligação glicosídica da sacarose com formação de glicose e frutose (PODADERA, 2007) (Tabela 2).

Tabela 2 Médias e desvios padrões das variáveis POL, ART e AR de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico (0%, 1,5%, 3%) e armazenada por 14 dias

POL (%)				
Períodos (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	14,20±1,28Aa	13,00±1,88Aa	15,08±0,78Aa	F _{2,8} =1,7; P=0,3; C.V.= 9,8%
1,5	13,05±1,13Aa	15,23±0,63Aa	15,16±0,08Aa	F _{2,8} =3,8; P=0,1; C.V.= 5,2%
3,0	14,00±1,37Aa	14,79±2,05Aa	13,45±0,25Aa	F _{2,8} =0,7; P=0,6; C.V.=10,2%
	F _{2,8} =0,14 C.V.=9,4% P=0,9	F _{2,8} =1,5 C.V.=11,5% P=0,3	F _{2,8} =1,5 C.V.=11,5% P=0,1	
ART (%)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	12,30±1,00Aa	11,67±0,39Aa	12,18±0,23Aa	F _{2,8} =2,8; P=0,5; C.V.= 5,2%
1,5	11,67±0,74Aa	12,42±0,54Aa	11,63±0,49Aa	F _{2,8} =1,7; P=0,3; C.V.= 5,0%
3,0	11,62±0,69Aa	12,69±1,10Aa	11,63±0,10Aa	F _{2,8} =0,2; P=0,8; C.V.=6,3%
	F _{2,8} =0,6 C.V.=6,9% P=0,6	F _{2,8} =0,8 C.V.=6,1% P=0,5	F _{2,8} =2,3 C.V.=2,7% P=0,2	
AR (%)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,22±0,06Aa	0,19±0,03Aa	0,17±0,02Ab	F _{2,8} =1,2; P=0,4; C.V.= 19,7%
1,5	0,25±0,03Aa	0,15±0,03Ba	0,17±0,00Bb	F _{2,8} =18; P<10 ⁻³ ; C.V.= 11,4%
3,0	0,19±0,00Aa	0,18±0,06Aa	0,26±0,02Aa	F _{2,8} =5,6; P=0,1; C.V.= 15,8%
	F _{2,8} =0,6 C.V.=6,9% P=0,6	F _{2,8} =0,8 C.V.=6,1% P=0,5	F _{2,8} =2,3 C.V.=2,7% P=0,2	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p >0,05).

A acidez total titulável (ATT) aumentou significativamente com o aumento da concentração de ácido cítrico utilizado no tratamento, mas não foi suficiente para causar alguma variação significativa no pH do caldo, com exceção ao 7º dia de armazenamento, onde na concentração de 3.0% o caldo teve sua maior acidez (Tabela 3). O ácido cítrico é considerado um ácido fraco, de menor dissociação, possuindo poder tamponante, não afetando abruptamente a mudança do pH (REZZADORI, 2010).

Os valores encontrados para o *ratio* diminuíram com o acréscimo do ácido cítrico nos tratamentos da cana em todos os períodos de armazenamento (Tabela 2). O ácido cítrico está envolvido na inibição da enzima fosfofrutoquinase, que catalisa a fosforilação da frutose-6-fosfato em 1,6-bifosfato na via glicolítica do metabolismo respiratório (REECE et al., 2015). Nesse caso, conclui-se que o ácido cítrico aplicado à cana-de-açúcar minimamente processada, além de aumentar o seu índice de acidez, contribuiu com o decréscimo do processo respiratório, interferindo no seu índice de maturação.

Tabela 3 Médias e desvios padrões das variáveis TSS, ATT, Ratio e pH de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico (0,0%, 1,5%, 3,0%) e armazenada por 14 dias

TSS (°Brix)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	16,83±0,76Aa	16,87±0,31Aa	17,57±0,75Aa	F _{2,8} = 1,3; P=0,4; C.V.= 3,8%
1,5	16,17±0,90Aa	16,33±0,12Aa	17,57±0,49Aa	F _{2,8} =5,0; P=0,1; C.V.= 3,6%
3,0	16,83±1,00Aa	16,27±1,36Aa	16,87±0,81Aa	F _{2,8} =0,3; P=0,8; C.V.= 6,5%
	F _{2,8} = 0,6 C.V.= 5,4% P = 0,6	F _{2,8} = 1,0 C.V.= 4,9% P = 0,6	F _{2,8} = 0,5 C.V.= 4,0% P = 0,4	
ATT (mg Ác. Cítrico.g ⁻¹)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,07±0,02Ab	0,07±0,01Ab	0,06±0,00Ab	F _{2,8} = 0,1; P = 0,9; C.V.= 19,7%
1,5	0,09±0,01Ab	0,09±0,01Ab	0,09±0,01Aab	F _{2,8} = 0,0; P = 1,0; C.V.= 11,5%
3,0	0,14±0,01Aa	0,14±0,01Aa	0,11±0,02Aa	F _{2,8} = 4,5; P = 0,1; C.V.= 11,2%
	F _{2,8} = 23,4 C.V.= 13,4% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 39,0 C.V.= 10,4% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 7,1 C.V.= 16,5% P<10 ⁻³	
Ratio				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	244,42±50,95Aa	251,46±29,72Aa	283,37±28,59Aa	F _{2,8} = 0,7; P = 0,5; C.V.= 14,4%
1,5	180,03±10,94Aab	186,65±27,33Ab	195,84±30,06Ab	F _{2,8} = 0,4; P = 0,7; C.V.= 12,8%
3,0	123,55±01,62Ab	118,61±0,58Ac	155,54±28,35Ab	F _{2,8} = 5,4; P = 0,1; C.V.= 12,3%
	F _{2,8} = 14,0 C.V.= 16,2% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 25,1 C.V.= 12,5% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 14,7 C.V.= 13,6% P<10 ⁻³	
pH				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	5,30±0,47Aa	5,31±0,16Aa	5,17±0,63Aa	F _{2,8} = 0,1; P = 0,9; C.V.= 0,4%
1,5	4,79±0,34Aa	5,01±0,11Aa	4,55±0,14Aa	F _{2,8} = 3,4; P = 0,1; C.V.= 0,3%
3,0	5,07±0,58Aa	4,35±0,14Ab	4,65±0,11Aa	F _{2,8} = 3,2; P = 0,1; C.V.= 7,4%
	F _{2,8} = 0,9 C.V.= 9,3% P = 0,5	F _{2,8} = 38,9 C.V.= 2,8% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 2,4 C.V.= 7,8% P = 0,2	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p >0,05).

Quanto ao índice de escurecimento (I.E), para os dois primeiros períodos de armazenamento (1 e 7 dias), o índice diminuiu conforme o aumento da concentração de ácido cítricos, apresentando um baixo escurecimento para ambos casos (Tabela 4). Quanto ao período de armazenamento, houve um aumento significativo

do escurecimento do caldo no 7º dia, quando comparado com o 1º dia, mantendo-se estável no 14º dia de armazenamento.

As atividades das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) decaíram com o aumento da concentração de ácido cítrico no 7º e 14º dias de armazenamento, principalmente na cana tratada com 3% do ácido (Tabela 4). A polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD) são os principais responsáveis pelo escurecimento do tecido vegetal *in natura*, cujo processo envolve os compostos fenólicos, onde, na presença de oxigênio, a enzima oxida o substrato, originando compostos cetônicos (o-quinina), que posteriormente liberados do sítio ativo da enzima, irão resultar em melaninas, pigmentos de coloração parda. Essas enzimas reagem em pH elevado, mas, em meio ácido, há diminuição da taxa de reação, pois o ácido se oxida, reduzindo a fenol o composto cetônico formado, dificultando a formação de melaninas, responsáveis pelo escurecimento do vegetal (BUHELLI; ROBSON, 1994).

Em relação aos compostos fenólicos, não se observou diferença estatística entre os tratamentos e períodos de armazenamento. Como a PPO e a POD se utilizam dos compostos fenólicos como substrato para a oxidação e escurecimento do caldo-de-cana, a estabilidade apresentada neste experimento comprova a eficácia do ácido cítrico como um eficiente agente antioxidante (Tabela 4).

Tabela 4. Médias e desvios padrões das variáveis IE, PPO, POD e compostos fenólicos de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com ácido cítrico (0,0%, 1,5%, 3,0%) e armazenada por 14 dias

IE				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	19,55±2,83Ba	34,74±3,94Aa	23,59±2,29Ba	F _{2,8} = 19,4; P<10 ⁻³ ; C.V.= 11,9%
1,5	19,13±2,00Ba	31,00±3,18Aab	23,46±4,30ABa	F _{2,8} = 10,0; P<10 ⁻³ ; C.V.= 13,4%
3,0	14,01±0,44Bb	21,93±5,00Ab	19,07±1,26ABa	F _{2,8} = 5,4; P<10 ⁻³ ; C.V.= 16,3%
	F _{2,8} = 7,0 C.V.= 11,5% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 7,7 C.V.= 14,1% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 2,4 C.V.= 13,2% P = 0,2	
PPO (AE min ⁻¹ mL ⁻¹)				
Períodos (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,91±0,09Aa	1,16±0,19Aa	1,05±0,24Aa	F _{2,8} = 1,3; P = 0,3; C.V.= 17,8%
1,5	0,73±0,04Aa	0,50±0,05Bb	0,76±0,05Aa	F _{2,8} = 25,7; P<10 ⁻³ ; C.V.= 7,1%
3,0	0,80±0,05Aa	0,37±0,01Bb	0,25±0,03Bb	F _{2,8} = 232,2; P<10 ⁻³ ; C.V.= 7,0%
	F _{2,8} = 7,3 C.V.= 7,4% P = 0,1	F _{2,8} = 39,3 C.V.= 17,2% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 24, C.V.= 20, P<10 ⁻³	
POD (AE min ⁻¹ mL ⁻¹)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,99±0,02Aa	0,81±0,15Aa	0,54±0,14Aa	F _{2,8} = 10,9; P<10 ⁻³ ; C.V.= 15,3%
1,5	0,58±0,04Ab	0,59±0,09Ab	0,34±0,05Bb	F _{2,8} = 16,2; P<10 ⁻³ ; C.V.= 12,1%
3,0	0,39±0,02Bc	0,57±0,04Ab	0,23±0,04Cb	F _{2,8} = 85,9; P<10 ⁻³ ; C.V.= 8,0%
	F _{2,8} = 338,52 C.V.= 4,4% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 5,1 C.V.= 15,6% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 9,6 C.V.= 23,6% P<10 ⁻³	
Compostos Fenólicos (mg ac. Gálico.100 g ⁻¹ caldo)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	37,52±08,20Aa	28,52±05,93Aa	28,31±09,99Aa	F _{2,8} = 1,2; P=0,4; C.V.= 26,1%
1,5	34,46±14,93Aa	30,36±13,11Aa	29,96±19,57Aa	F _{2,8} = 0,1; P=0,9; C.V.= 26,0%
3,0	38,41±09,99Aa	39,55±07,71Aa	16,24±06,43Aa	F _{2,8} = 7,8; P=0,1; C.V.= 51,0%
	F _{2,8} = 0,1 C.V.= 31,0% P = 0,9	F _{2,8} = 1,2 C.V.= 28,7% P = 0,4	F _{2,8} = 1,0 C.V.= 53,2% P = 0,4	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p >0,05).

5.2 Experimento com cloridrato de L-cisteína

5.2.1 Análises Microbiológicas

Nos resultados obtidos nas análises microbiológicas da cana-de-açúcar tratada com L-cisteína não se observa crescimento de microrganismos psicrotróficos ou patogênicos, *Salmonella* sp, coliformes termo tolerantes (Tabela 5). Tal fato indica que o experimento foi realizado dentro dos parâmetros adequados de higiene e sanitização, resultando em um produto final de qualidade satisfatória para o consumo de acordo com os limites estabelecidos pela ANVISA (BRASIL, 2001).

Tabela 5. Resultados das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente submetida a diferentes concentrações de cloridrato de L-cisteína

Dias	<i>Salmonella</i> spp./ 25g			Coliformes a 45°C (UFC/g)			Pscicotróficos (UFC/g)		
	0,0%	1,0%	2,0%	0,0%	1,0%	2,0%	0,0%	1,0%	2,0%
0	Ausente	Ausente	Ausente	< 10	< 10	Ausente	< 10	< 10	< 10
7	Ausente	Ausente	Ausente	< 10	< 10	Ausente	< 10	< 10	< 10
14	Ausente	Ausente	Ausente	< 10	< 10	Ausente	< 10	< 10	< 10

5.2.2 Variáveis Físico-Químicas

As variáveis Pol, açúcar redutor total (ART), teor de sólidos solúveis (TSS), índice de escurecimento (IE) e polifenoloxidade (PPO), não apresentaram diferença significativa para tratamentos e período de armazenamento. O açúcar redutor (AR), pH, peroxidase (POD) e fenólicos totais apresentaram variações entre tratamentos e períodos. A acidez total titulável (ATT) e o ratio diferiram somente entre tratamentos (Tabelas 6 a 8).

Tabela 6. Médias e desvios padrões das variáveis POL, ART e AR de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com L-cisteína (0%, 1,0%, 2,0%) e armazenada por 14 dias

POL (%)				
Períodos (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	19,71±0,52Aa	20,44±0,44Aa	0,29±0,53Aa	F _{2,8} = 1,9; P=0,2; C.V.= 2,5%
1,0	20,77±0,15Aa	20,69±0,26Aa	0,37±0,30Aa	F _{2,8} = 2,1; P=0,2; C.V.= 1,2%
2,0	19,56±0,66Aa	20,10±1,38Aa	0,21±0,37Aa	F _{2,8} = 0,4; P=0,7; C.V.= 4,5%
	F _{2,8} = 5,3 C.V.= 2,5% P = 0,1	F _{2,8} = 0,4 C.V.= 4,2% P = 0,7	F _{2,8} = 0,1 C.V.= 2,0% P = 0,9	
ART (%)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	17,16±1,66Aa	17,27±1,99Aa	17,63±0,34Aa	F _{2,8} = 0,1; P=0,9; C.V.= 8,7%
1,0	19,61±0,15Aa	18,44±0,60Aa	18,17±0,60Aa	F _{2,8} = 7,1; P=0,1; C.V.= 7,7%
2,0	18,69±0,70Aa	18,89±0,90Aa	18,74±0,23Aa	F _{2,8} = 0,1; P=0,9; C.V.= 3,6%
	F _{2,8} = 4,2 C.V.= 5,7% P = 0,1	F _{2,8} = 1,2 C.V.= 7,2% P = 0,4	F _{2,8} = 5,7 C.V.= 2,4% P = 0,1	
AR (%)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,34±0,04Aa	0,19±0,01Bb	0,39±0,01Ab	F _{2,8} = 57,4; P<10 ⁻³ ; C.V.= 7,9%
1,0	0,30±0,04Ba	0,22±0,02Cb	0,57±0,00Aa	F _{2,8} = 143,9; P<10 ⁻³ ; C.V.= 7,4%
2,0	0,37±0,07Ba	0,38±0,02Ba	0,52±0,04Aa	F _{2,8} = 10,9; P<10 ⁻³ ; C.V.= 10,7%
	F _{2,8} = 1,3 C.V.= 15,2% P = 0,3	F _{2,8} = 117,4 C.V.= 6,3% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 60,6 C.V.= 4,3% P<10 ⁻³	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre pelo teste de Tukey si (p>0,05).

Os valores encontrados de POL, TSS, ART são semelhantes aos encontrados por Dalri et al. (2008), mas acima dos encontrados por Andrade (2007) e por Pauli (2015). Entretanto os açúcares redutores (AR) apresentaram aumento na concentração de 2,0% de L-Cisteína no 7º dia de armazenamento e nas concentrações de 1,0 e 2,0% no 14º dia. Pela estabilidade do ART durante o experimento, conclui-se que a L-cisteína promoveu a quebra da sacarose em monossacarídeos glicose e frutose (Tabelas 6 e 7).

Tabela 7. Médias e desvios padrões das variáveis TSS, ATT, Ratio e pH de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com L-cisteína (0,0%, 1,0%, 2,0%) e armazenada por 14 dias

TSS (°Brix)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	21,73±0,40Aa	21,97±0,47Aa	22,00±0,27Aa	F _{2,8} = 0,4; P=0,7; C.V.= 1,8%
1,0	22,77±0,25Aa	22,23±0,23Aa	22,23±0,21Aa	F _{2,8} = 5,3; P=0,1; C.V.= 1,0%
2,0	21,87±0,40Aa	21,87±1,04Aa	22,27±0,25Aa	F _{2,8} = 0,4; P=0,7; C.V.= 3,0%
	F _{2,8} = 7,3 C.V.= 4,6% P = 0,1	F _{2,8} = 0,2 C.V.= 3,1% P = 0,8	F _{2,8} = 1,1 C.V.= 1,1% P = 0,4	
ATT (mg Ác. Cítrico.g ⁻¹)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,05±0,01Aa	0,04±0,00Ab	0,05±0,00Ab	F _{2,8} = 0,6; P=0,6; C.V.= 16,0%
1,0	0,06±0,00Aa	0,06±0,00Aa	0,06±0,00Aa	F _{2,8} = 1,0; P=0,4; C.V.= 5,7%
2,0	0,06±0,01Aa	0,07±0,00Aa	0,07±0,00Aa	F _{2,8} = 0,3; P=0,7; C.V.= 8,8%
	F _{2,8} = 3,3 C.V.= 11,5% P = 0,1	F _{2,8} = 12,3 C.V.= 10,4% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 14,0 C.V.= 8,2% P<10 ⁻³	
Ratio				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	454,45±65,09Aa	521,28±47,21Aa	485,06±21,57Aa	F _{2,8} = 1,5; P=0,3; C.V.= 9,8%
1,0	371,23±15,94Ab	390,07±22,89Ab	375,57±15,32Ab	F _{2,8} = 0,9; P=0,5; C.V.= 4,9%
2,0	348,29±36,49Ab	318,57±08,41Ab	337,76±13,43Ab	F _{2,8} = 1,3; P=0,3; C.V.= 6,9%
	F _{2,8} = 9,8 C.V.= 11,3% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 33,7 C.V.= 7,5% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 59,8 C.V.= 4,3% P<10 ⁻³	
pH				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	5,90±0,06Aa	5,72±0,13Ba	5,59±0,04Ba	F _{2,8} = 9,7; P<10 ⁻³ ; C.V.= 1,5%
1,0	5,62±0,08Ab	5,34±0,10Ab	5,31±0,06Ab	F _{2,8} = 3,3; P=0,1; C.V.= 2,4%
2,0	5,57±0,08Ab	5,19±0,04Bb	5,21±0,15Bb	F _{2,8} = 13,4; P<10 ⁻³ ; C.V.= 1,9%
	F _{2,8} = 6,8 C.V.= 2,3% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 24,2 C.V.= 1,8% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 12,8 C.V.= 1,8% P<10 ⁻³	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

O pH apresentou diminuição na cana tratada com 1 e 2% de L-cisteína, em todos os períodos de armazenamento. A acidez total titulável (ATT) apresentou aumento em todas as concentrações para os período de armazenamento de 7 e 14 dias, com maior teor para a concentração de 2,0% (Tabela 7). Esses valores são confirmados pelo *ratio*, o qual diminuiu com o aumento da

concentração de L-cisteína. Isso ocorre devido a L-Cisteína ser um aminoácido que ao ser ionizado no caldo, se quebra formando ácidos orgânicos, aumentando a quantidade de íons hidrônio (H_3O^+) na solução, diminuindo, assim, os valores do pH (ROSALIN et al., 2016). Os resultados de pH e ATT são semelhantes aos encontrados por Andrade et al. (2008) e Ferrari (2014).

Os resultados da polifenoloxidase (PPO) e do índice de escurecimento (IE) ficaram abaixo dos encontrados por Oliveira (2007), mas semelhantes aos de Andrade (2014). Houve decréscimo da atividade da peroxidase (POD), conforme o aumento das concentrações de L-cisteína (1,0 e 2,0%) nos períodos de 7 e 14 dias de armazenamento, acompanhado do aumento dos compostos fenólicos em todos os tratamentos (Tabela 8). Como a POD é uma enzima que catalisa as reações químicas dos compostos fenólicos à ortoquinona, resultando na formação de melaninas, a diminuição da atividade dessa enzima e o aumento dos compostos fenólicos significam que a L-cisteína inibiu a ação da enzima, resultando na inibição do escurecimento. Esses resultados são corroborados por Melo e Vilas Boas (2006) em estudo de banana maçã tratada com L-cisteína como agente antioxidante.

Tabela 8. Médias e desvios padrões das variáveis IE, PPO, POD e compostos fenólicos de cana-de açúcar minimamente processada tratada com L-cisteína (0,0%, 1,0%, 2,0%) e armazenada por 14 dias

IE				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	23,34±1,22Aa	22,17±1,79Aa	24,12±0,97Aa	F _{2,8} = 1,5; P=0,3; C.V.= 5,9%
1,0	25,05±3,08Aa	22,46±0,75Aa	21,64±0,63Aa	F _{2,8} = 4,0; P=0,1; C.V.= 7,3%
2,0	22,15±2,04Aa	22,98±1,43Aa	22,81±1,35Aa	F _{2,8} = 0,7; P=0,5; C.V.= 6,9%
	F _{2,8} = 1,8 C.V.= 8,9% P=0,2	F _{2,8} = 0,3 C.V.= 6,2% P = 0,8	F _{2,8} = 8,7 C.V.= 3,9% P = 0,1	
PPO (AE min ⁻¹ mL ⁻¹) Cisteína				
Períodos (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,97±0,03Aa	0,87±0,05Aa	0,88±0,01Aa	F _{2,8} = 6,6; P=0,1; C.V.= 4,0%
1,0	0,88±0,08Aa	0,74±0,09Aa	0,89±0,04Aa	F _{2,8} = 4,2; P=0,1; C.V.= 8,3%
2,0	0,87±0,08Aa	0,90±0,15Aa	0,75±0,01Aa	F _{2,8} = 2,0; P=0,2; C.V.= 11,8%
	F _{2,8} = 1,9 C.V.= 7,5% P=0,2	F _{2,8} = 1,9 C.V.= 12,4% P = 0,2	F _{2,8} = 12 C.V.= 3,0% P = 0,1	
POD (AE min ⁻¹ mL ⁻¹)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	0,94±0,30Ba	2,37±0,55Aa	1,02±0,10Ba	F _{2,8} = 14,7; P<10 ⁻³ ; C.V.= 25,4%
1,0	0,89±0,27Aa	0,76±0,21Ab	0,95±0,06Aa	F _{2,8} = 1,4; P=0,3; C.V.= 17,7%
2,0	0,93±0,15Aa	0,75±0,06Ab	0,69±0,05Ab	F _{2,8} = 5,1; P=0,1; C.V.= 12,4%
	F _{2,8} = 0,1 C.V.= 22,3% P=0,9	F _{2,8} = 22,7 C.V.= 26,2% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 17,1 C.V.= 8,3% P<10 ⁻³	
Compostos Fenólicos (mg ac. Gálico.100 g ⁻¹ caldo)				
Período (Dias)				
Concentração (%)	1	7	14	
0,0	37,83±11,67Ab	51,46±07,86Ab	40,75±05,96Ab	F _{2,8} = 2,0; P=0,2; C.V.= 20,4%
1,0	118,22±20,14Aa	59,55±10,00Bb	36,46±13,78Bb	F _{2,8} = 13,3; P<10 ⁻³ ; C.V.= 18,7%
2,0	101,19±10,14Aa	112,65±15,31Aa	96,40±13,83Aa	F _{2,8} = 1,2; P=0,4; C.V.= 12,8%
	F _{2,8} = 1,8 C.V.= 8,9% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 0,3 C.V.= 6,2% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 8,7 C.V.= 3,9% P<10 ⁻³	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

5.3 Experimento com Irradiação gama

5.3.1. Análise Microbiológica

Os resultados obtidos das análises microbiológicas da cana-de-açúcar tratada com irradiação não apresentaram crescimento de *Salmonella* sp, coliformes termo tolerantes (Tabela 9). Somente para os psicrotróficos, se observou $>10^3$ UFC.g⁻¹ nas repetições do controle, sendo eliminado pelas doses de irradiação. Tal fato indica que o experimento foi realizado dentro dos parâmetros adequados de higiene e sanitização, e mostra a eficiência da irradiação como coadjuvante no processamento mínimo.

Tabela 9. Resultados das análises microbiológicas da cana-de-açúcar minimamente submetida a diferentes doses de irradiação

Dias	<i>Salmonella</i> spp./ 25g			Coliformes a 45°C (UFC/g)			Psicrotróficos (UFC/g)		
	0,0kGy	2,0kGy	4,0kGy	0,0kGy	2,0kGy	4,0kGy	0,0kGy	2,0kGy	4,0kGy
0	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	$>10^3$	< 10	< 10
7	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	$>10^3$	< 10	< 10
14	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	$>10^3$	$>10^3$	< 10

5.3.2 Variáveis Físico-Químicas

As variáveis, teor de sólidos solúveis (TSS), acidez total titulável (ATT) e *ratio* (Tabela 11), índice de escurecimento (IE) e compostos fenólicos (Tabela 11), não apresentaram diferença significativa entre tratamentos e períodos de armazenamento. As demais variáveis, POL, açúcar redutor (AR) e peroxidase (POD) apresentaram variação significativa tanto entre tratamentos e entre períodos de armazenamento (Tabelas 10 a 12). A polifenoloxidase (PPO) (Tabela 12) e o pH (Tabela 10) apresentaram variação entre doses apenas e o açúcar redutor total (ART) apresentou variação somente entre os períodos de armazenamento (Tabela 10).

A POL, teor de sacarose aparente, apresentou baixo valor para a dose de 2 kGy, no 1° dia de armazenamento, em relação a todos os demais tratamentos. O açúcar redutor total (ART) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos dentro de um mesmo período, havendo um aumento dos valores no 14° dia de armazenamento em relação ao 1° dia para as amostras irradiadas (2 e 4kGy) (Tabela 10). Quanto ao açúcar redutor (AR), verificou-se uma diminuição significativa para a dose de 4kGy no 1° dia. Entretanto, após 7 dias de armazenamento, houve estabilidade no valor do açúcar entre os tratamentos, aumentando aos 14 dias nas amostras tratadas com a dose de 4kGy (Tabela 10).

Em vegetais minimamente processados, a atividade respiratória aumenta nas primeiras horas após o processamento, decorrente do estresse causado pelas operações de descascamento, corte e irradiação, no caso do presente experimento. Esse fato pode ser expresso pelo consumo de glicose (açúcar redutor), substrato respiratório do vegetal. À medida que avança o período de armazenamento, a taxa respiratória vai se acomodando e estabilizando, podendo até diminuir conforme o tratamento, como a irradiação com 4kGy no 14° dia.

Os valores das variáveis POL, açúcar redutor (AR) e açúcar redutor total (ART) são semelhantes aos encontrados por Oliveira (2007). Os resultados do teor de sólidos solúveis (TSS) ficaram acima dos encontrados por Lima (2012), em cana-de-açúcar irradiada com 5kGy.

Tabela 10. Médias e desvios padrões das variáveis POL, ART e AR de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com irradiação gama (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy) e armazenada por 14 dias

POL (%)				
Períodos (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	21,49±0,15Aa	21,52±0,38Aa	21,88±0,28Aa	F _{2,8} = 1,7; P=0,3; C.V.= 1,3%
2,0	20,92±0,15Bb	21,79±0,50ABa	22,24±0,56Aa	F _{2,8} = 6,9; P<10 ⁻³ ; C.V.= 2,0%
4,0	21,94±0,23Aa	22,03±0,11Aa	22,04±0,09Aa	F _{2,8} = 0,4; P=0,7; C.V.= 0,7%
	F _{2,8} = 24,0 C.V.= 0,8% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 0,3 C.V.= 1,7% P = 0,7	F _{2,8} = 0,8 C.V.= 1,7% P = 0,5	
ART (%)				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	19,12±0,58Aa	18,82±0,73Aa	19,86±0,32Aa	F _{2,8} = 2,6; P=0,2; C.V.= 3,0%
2,0	18,87±0,22Ba	20,28±0,45ABa	21,02±0,98Aa	F _{2,8} = 8,9; P<10 ⁻³ ; C.V.= 3,2%
4,0	19,70±0,62Ba	19,92±0,40Ba	21,40±0,48Aa	F _{2,8} = 10,1; P<10 ⁻³ ; C.V.= 2,5%
	F _{2,8} = 2,1 C.V.= 2,6% P = 0,2	F _{2,8} = 5,7 C.V.= 3,0% P = 0,1	F _{2,8} = 4,5 C.V.= 3,2% P = 0,1	
AR (%)				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	0,25±0,02Aa	0,18±0,02Ba	0,18±0,03Bb	F _{2,8} = 9,0; P<10 ⁻³ ; C.V.= 11,4%
2,0	0,28±0,02Aa	0,21±0,04ABa	0,16±0,03Bb	F _{2,8} = 11,6; P<10 ⁻³ ; C.V.= 13,6%
4,0	0,18±0,02Bb	0,24±0,02Ba	0,37±0,02Aa	F _{2,8} = 101,7; P<10 ⁻³ ; C.V.= 6,5%
	F _{2,8} = 23,5 C.V.= 8,0% P<10 ⁻³	F _{2,8} = 3,6 C.V.= 13,3% P = 0,1	F _{2,8} = 68,4 C.V.= 10,1% P<10 ⁻³	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

Para o pH, no 7º dia, houve aumento significativo entre as doses de 0 e 4kGy, não apresentando diferença entre os demais períodos de armazenamento. Esse acréscimo vem acompanhado do aumento da atividade da polifenoloxidase (PPO) indicando que para essa dose e período, o caldo sofreu oxidação. Para os demais períodos de armazenamento, os valores da PPO e do pH não sofreram variação significativa. Os valores encontrados para pH e polifenoloxidase (PPO) diferiram de Oliveira (2007), com PPO abaixo do encontrado pelo autor (3,98 AE.min⁻¹.mL⁻¹) em caldo de cana-de-açúcar irradiado com 2,5 kGy.

Tabela 11. Médias e desvios padrões das variáveis TSS, ATT, Ratio e pH de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com irradiação gama (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy) e armazenada por 14 dias

TSS (°Brix)				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	23,90±0,35Aa	22,87±0,12Aa	23,40±0,30Aa	F _{2,8} = 10,8; P=0,1; C.V.= 1,6%
2,0	23,20±0,27Aa	23,17±0,49Aa	23,90±0,56Aa	F _{2,8} = 2,5; P=0,2; C.V.= 2,0%
4,0	24,10±0,20Aa	23,50±0,17Aa	23,33±0,67Aa	F _{2,8} = 2,9; P=0,1; C.V.= 1,8%
	F _{2,8} = 8,7 C.V.= 1,7% P=0,1	F _{2,8} = 3,2 C.V.= 1,3% P = 0,1	F _{2,8} = 1,0 C.V.= 2,3% P=0,4	
ATT (mg Ác. Cítrico.g ⁻¹)				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	0,05±0,01Aa	0,06±0,02Aa	0,06±0,01Aa	F _{2,8} = 0,1; P=0,9; C.V.= 26,0%
2,0	0,05±0,00Aa	0,04±0,00Aa	0,05±0,01Aa	F _{2,8} = 2,3; P=0,2; C.V.= 12,1%
4,0	0,05±0,01Aa	0,04±0,00Aa	0,05±0,01Aa	F _{2,8} = 1,8; P=0,3; C.V.= 14,6%
	F _{2,8} = 0,7 C.V.= 16,7% P=0,6	F _{2,8} = 1,5 C.V.= 26,7% P = 0,3	F _{2,8} = 0,2 C.V.= 14,3% P=0,8	
Ratio				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	473,43±120,76Aa	414,79±136,60Aa	424,66±52,63Aa	F _{2,8} = 0,3; P=0,8; C.V.= 25,1%
2,0	507,42±30,42Aa	562,29±59,29Aa	456,40±53,02Aa	F _{2,8} = 3,5; P=0,1; C.V.= 9,7%
4,0	526,27±19,93Aa	583,89±15,41Aa	445,36±89,91Aa	F _{2,8} = 5,0; P=0,1; C.V.= 10,4%
	F _{2,8} = 0,4 C.V.= 14,5% P=0,7	F _{2,8} = 3,4 C.V.= 16,6% P = 0,1	F _{2,8} = 0,2 C.V.= 15,3% P=0,8	
pH				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	5,62±0,02Aa	5,57±0,08Ab	5,59±0,06Aa	F _{2,8} = 0,8; P=0,5; C.V.= 1,0%
2,0	5,74±0,04Aa	5,68±0,05Aab	5,57±0,02Aa	F _{2,8} = 15,0; P=0,1; C.V.= 0,7%
3,0	5,67±0,06Ba	5,79±0,02Aa	5,66±0,01Ba	F _{2,8} = 12,8; P=0,1; C.V.= 2,0%
	F _{2,8} = 5,3 C.V.= 0,6% P = 0,1	F _{2,8} = 13,7 C.V.= 0,9% P <10 ⁻³	F _{2,8} = 5,1 C.V.= 0,6% P = 0,1	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si a pelo teste de Tukey (p>0,05).

A peroxidase (POD) apresentou menor atividade no primeiro dia de armazenamento no tratamento com 4,0kGy, mantendo-se constante nos demais períodos; os compostos fenólicos totais não apresentaram variação para as doses utilizadas e nem para o período de armazenamento, sendo a irradiação gama de ⁶⁰Co capaz de inibir a atividade enzimática da peroxidase (Tabela 12). Os valores de

POD ficaram abaixo dos encontrados por Andrade (2014), o qual encontrou 3,35 AE.min⁻¹.mL⁻¹ em caldo de cana-de-açúcar irradiado.

Tabela 12. Médias e desvios padrões das variáveis IE, PPO, POD e compostos fenólicos de cana-de-açúcar minimamente processada tratada com irradiação gama (0,0kGy, 2,0kGy, 4,0kGy) e armazenada por 14 dias

Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	26,27±1,48Aa	24,98±0,98Aa	24,92±0,13Aa	F _{2,8} = 1,5; P=0,3; C.V.= 5,9%
2,0	25,98±1,06Aa	24,33±1,49Aa	24,88±0,78Aa	F _{2,8} = 2,7; P=0,1; C.V.= 8,1%
4,0	26,77±1,27Aa	24,29±1,30Aa	25,36±1,60Aa	F _{2,8} = 0,2; P=0,8; C.V.= 7,2%
	F _{2,8} = 1,3 C.V.= 9,6% P = 0,4	F _{2,8} = 0,3 C.V.= 6,2% P = 0,8	F _{2,8} = 4,4 C.V.= 4,5% P = 0,1	

PPO (AE min ⁻¹ mL ⁻¹)				
Períodos (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	0,88±0,08Aa	0,67±0,09Ab	0,90±0,02Aa	F _{2,8} = 5,5; P=0,1; C.V.= 8,2%
2,0	0,84±0,18Aa	0,91±0,15Aab	0,95±0,03Aa	F _{2,8} = 0,5; P=0,6; C.V.= 15,1%
4,0	0,81±0,17Aa	1,02±0,09Aa	0,98±0,03Aa	F _{2,8} = 3,2; P=0,2; C.V.= 11,8%
	F _{2,8} = 0,2 C.V.= 17,6% P = 0,8	F _{2,8} = 4,9 C.V.= 12,8% P < 10 ⁻³	F _{2,8} = 7,3 C.V.= 7,6 P = 0,1	

POD (AE min ⁻¹ mL ⁻¹)				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	1,37±0,22Aa	0,91±0,04Ba	1,42±0,30Aa	F _{2,8} = 5,1; P < 10 ⁻³ ; C.V.= 17,6%
2,0	0,91±0,10Ab	1,04±0,08Aa	1,11±0,01Aa	F _{2,8} = 5,6; P=0,1; C.V.= 8,0%
4,0	0,92±0,06Ab	1,03±0,15Aa	1,00±0,11Aa	F _{2,8} = 0,8; P=0,5; C.V.= 11,3%
	F _{2,8} = 9,9 C.V.= 13,7% P < 10 ⁻³	F _{2,8} = 1,6 C.V.= 9,9% P = 0,3	F _{2,8} = 4,2 C.V.= 15,6% P = 0,1	

Compostos Fenólicos (mg ac. Gálico.100 g ⁻¹ caldo)				
Período (Dias)				
Dose (kGy)	1	7	14	
0,0	37,18±04,49Aa	47,30±9,12Aa	51,00±10,03Aa	F _{2,8} = 2,3; P=0,2; C.V.= 18,2%
2,0	41,48±10,82Aa	48,14±8,93Aa	36,11±01,86Aa	F _{2,8} = 1,6; P=0,3; C.V.= 19,4%
4,0	47,98 ± 9,16Aa	42,74±6,91Aa	47,66±06,71Aa	F _{2,8} = 0,4; P=0,7; C.V.= 16,6%
	F _{2,8} = 1,2 C.V.= 20,3% P = 0,4	F _{2,8} = 0,4 C.V.= 18,2% P = 0,4	F _{2,8} = 3,7 C.V.= 15,7% P = 0,1	

*Obs. Médias com letras iguais, maiúsculas nas linhas (período de armazenamento) e minúsculas nas colunas (tratamentos), não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

O índice de escurecimento (I.E.) não apresentou variação significativa, mantendo a coloração característica do caldo de cana-de-açúcar, comprovando também que não houve oxidação expressiva e a eficácia da irradiação na conservação da cana-de-açúcar minimamente processada. No entanto, nos toletes foi observada, visualmente, uma coloração avermelhada, não refletida na coloração do caldo (Tabela 12).

Figura1 Toletes de Cana-de-Açúcar irradiada apresentando vermelhidão.



5.4. Estudo da correlação entre as variáveis para os tratamentos aplicados

Para avaliar a interdependência entre as variáveis, calculou-se a matriz de correlação a partir dos dados auto escalonados. Foram selecionados os coeficientes de correlação com índices maiores do que 0,70 (Tabela 13), para cada um dos tratamentos, considerados acentuados de acordo com Sounis (1975). Os coeficientes da Tabela 13 são estatisticamente significantes acima do nível de 95% de confiança.

Nas amostras submetidas ao tratamento com ácido cítrico, o pH e PPO possuem correlação positiva entre si, indicando que, quanto menor o valor de pH, menor é atividade da polifenoloxidase e, portanto, menor será o escurecimento da cana-de-açúcar e do caldo.

O açúcar redutor (AR) obteve correlação negativa com a POL. Sabendo-se que a POL indica a quantidade de açúcar expressa em sacarose, pode-se inferir que o maior teor de açúcar de açúcar redutor se expressa em maior redução da sacarose (Tabela 13).

Tabela 13. Coeficientes de correlação e significância entre os atributos da cana-de-açúcar tratada com diferentes concentrações de ácido cítrico e armazenada por diferentes períodos

Tributos	Coeficientes de Relação		Índice Significância
	Negativos	Positivos	
pH-PPO		0.75554	0.0185
AR-Pol	-0.90994		0.0007

*Obs. PPO=polifenoloxidase; AR=Açúcar redutor; IE=índice de escurecimento; L=luminosidade; Pol=açúcar aparente na cana-de-açúcar expressa em sacarose.

No experimento com L-cisteína, as variáveis, teor de sólidos solúveis (TSS), porcentagem de açúcar aparente (POL) e o açúcar redutor total (ART) se correlacionam positivamente entre si, o que era de se esperar, pois essas variáveis estão intimamente relacionadas com o açúcar presente no caldo, da mesma maneira que o pH se correlaciona negativamente com a acidez total titulável (ATT). Os compostos fenólicos apresentaram correlações positivas com o açúcar redutor total e a acidez total titulável (ATT). Mais uma vez se comprova que o tratamento com L-cisteína inibe o processo metabólico e, conseqüentemente, a conversão e consumo de ART pelo processo respiratório, e também a inibição enzimática, principalmente da peroxidase e o consumo dos compostos fenólicos (Tabela 14).

Tabela 14. Coeficientes de correlação e significância entre os atributos da cana-de-açúcar tratada com diferentes concentrações de L-cisteína e armazenada por diferentes períodos

Tributos	Coeficientes de Relação		Índice Significância
	Negativos	Positivos	
TSS-POL		0,77266	0,0146
ART-ATT		0,84377	0,0042
ART-Fenol		0,92115	0,0004
ATT-Fenol		0,86368	0,0027
pH-ATT	-0,72776		0,0262

No experimento com irradiação, houve correlação positiva entre a POL e o ART e negativa entre o pH e a ATT, o que era de se esperar, pois as variáveis expressam conceitos muito próximos entre si, mas não atestam efeitos significativos nas avaliações das amostras irradiadas (Tabela 15).

Tabela 15. Coeficientes de correlação e significância entre os atributos da cana-de-açúcar tratada com diferentes doses de radiação e armazenada por diferentes períodos

Tributos	Coeficientes de Relação		Índice Significância
	Negativos	Positivos	
POL-ART		0,79044	0,0112
pH-ATT	-0,85412		0,0034

De acordo com os dados da literatura sobre conservação da cana-de-açúcar e do caldo, e de alimentos minimamente processados, as características mais estudadas foram o teor de sólidos solúveis (TSS), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (ATT) e polifenoxidase (PPO), as quais são intrínsecas entre si, pois a PPO, enzima de escurecimento da cana-de-açúcar e de outros vegetais, está diretamente ligada à cor e acidez do caldo-de-cana, já que as enzimas de escurecimento possuem baixa atividade em pH mais baixos.

Avaliando essas variáveis nos três tratamentos aplicados no presente trabalho, em conjunto com as outras variáveis estudadas, conclui-se que a cana-de-açúcar tratada com ácido cítrico apresentou resultados favoráveis, atestando produto de qualidade, de acordo com as variáveis TSS, pH, ATT e PPO e comprovadas por ART, AR, POL, POD e Fenólicos.

Os tratamentos com L-Cisteína e Irradiação foram semelhantes em quase todos os aspectos, tendo a diferença mais significativa nos índices das enzimas de escurecimento, onde a cana-de-açúcar tratada com L-Cisteína manteve seus valores de PPO constantes e níveis de POD decrescentes com o aumento da concentração, enquanto que a cana-de-açúcar irradiada apresentou aumento dos valores da PPO e a POD só teve sua ação diminuída no primeiro dia de armazenamento. A irradiação se mostrou eficaz no controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos, como apresentado na Tabela 9.

6. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos nos três tratamentos, conclui-se que a cana-de-açúcar, tratada com Ácido Cítrico e L-Cisteína, apresentou resultados satisfatórios quanto à inibição das atividades enzimáticas, com baixo índice de escurecimento, mantendo em todo o período de armazenamento a doçura característica do caldo de cana. Entretanto, a L-Cisteína apresentou maiores valores nos teores de açúcares do que a cana-de-açúcar tratada com Ácido Cítrico, podendo ser justificado pela época de colheita, mas apresentando também uma melhor coloração do caldo. Portanto, conclui-se que o agente antioxidante L-Cisteína foi o que melhor conservou as características de qualidade da cana-de-açúcar durante o armazenamento, principalmente quando tratada com a concentração de 2%.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M.G. **Estimativa da vida de prateleira de caldo de cana padronizado e estocado sob refrigeração**. 2014. 162 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.
- ANDRADE, S.R.R.; PORTO, E.; SPOTO, M.H.F. Avaliação da qualidade do caldo extraído de toletes de cana-de-açúcar minimamente processada, armazenados sob diferentes temperaturas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 28, supl., p. 51-55, 2008.
- ANDREWS, L.S.; AHMEDNA, M.; GRODNER, R.R.; LUIZZO, J.A.; MURANO, P.S.; MURANO, E.A.; RAO, R.M.; SHANE, S.; WILSON, P.W. Food preservation using ionizing radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 15, n. 4, p. 1-53, 1998.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis**. 18. ed. Gaithersburg, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292783651_AOAC_2005>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis**: official method 989. 17. ed. Arlington, 2000.
- BAKARDJIEVA, N.T.; CHRISTOVA, N.V.; NENKOVA, R. Effect of calcium and a copper ions and some aminoacids on the Activity and thermosensitivity of mosses peroxidase and catalase. **Plant Peroxidase Newsletter**, Geneva, v. 10, p. 35-41, 1997.
- BARBAGALLO, R.N.; CHISARI, M.; PATANÉ, C. Use in vivo of natural anti-browning agents against polyphenol oxidase activity in minimally processed eggplant. Italia, online. **Chemical Engineering Transactions**, Milano, v. 27, p. 49–54, 2012.
- BIOCONTROL AMERICA LATINA. **Manual kit Simplate**. Sovereign, 2006. 2 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 nov. 1986. Seção 1, pt. 2.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Compendio da Legislação Brasileira de Aditivos Alimentares. Aprova uso de produtos como aditivos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 set. 2013. Seção 1, p. 45. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/a6809d8047457a1c86c0d63fbc4c6735/Compendio_marco_2011.pdf?MOD=AJPERES.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC 360 de 23 de dezembro de 2003. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0360_23_12_2003.pdf/5d4fc713-9c66-4512-b3c1-afee57e7d9bc. Acesso em: 17 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Poder Executivo, 10 jan. 2001.

BUCHELI, C.S.; ROBINSON, S.P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 2, p. 257-261, 1994.

CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Álcool no Estado de Alagoas, 1998. 423 p.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems: minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A.A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. Davis: University of California, Agriculture and Natural Resources, 1992. p. 277-281. (Publication, 3311).

CHITARRA, M.I.F. Processamento mínimo de frutas e hortaliças. **Tecnologia e Treinamento - Agropecuário**, Viçosa, n. 9, p. 41-55, 76, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Safra brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

CORDEIRO, I.N.F. **Soluções antioxidantes e tratamento térmico na qualidade de batata-doce minimamente processada**. 2018. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2018.

COSTA A.C.; ANTUNES P.L.C.; ROMBALDI, V.; GULARTE M.A. Controle do escurecimento enzimático e da firmeza de polpa em pêssegos minimamente processados. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2011nahead/a2611cr3180.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2018.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento sub superficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DELGADO, A.A.; CESAR, M.A.A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho: Zanini, 1977. 3 v.

DEMATTE, J.L.I. Modernizada, canicultura é líder em produção. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 60-67, 2004.

DIHEL, J.F. **Safety of irradiated foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1995. 454 p.

DILMAÇÜNAL, T.; ERBAS, D.; KOYUNCU, M.A.; ONURSAL, C.E.; KULEAS, H. Efficacy of some antimicrobial treatments compared to sodium hypochlorite on physical, physiological and microbial quality of fresh-cut melons (*Cucumis melo* L. var. inodorus). **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 59, p. 1146-1151, 2014.

DOSSIÊ ANTIOXIDANTE - Os Antioxidantes. **Food Ingredients Brasil**, São Paulo, n. 6, p. 16-23, 2009. Disponível em: <http://www.revista-fi.com/materias/83.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

DURIGAN, J.F. O processamento mínimo de frutas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16., 2000, Fortaleza. **Palestra...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2000. 12 p.

EMBRAPA. **Frutas minimamente processadas**: aspectos de qualidade e segurança. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 59 p. (Documentos, 103).

FAVA, A.R. Atletas ingerem garapa para repor energia. **Jornal da Unicamp**, Campinas, n. 250, 3-9 maio 2004. Disponível em: www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/maio2004/ju250pag8a.html.

FERRARI, T. **Banana minimamente processada**: inibição do escurecimento enzimático por agentes químicos e análise sensorial. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, Campo Mourão, 2014.

FIGUEIREDO, F. Irradiação de alimentos. **Alimentos & Tecnologia**, São Paulo, v. 6, n. 30, p. 96-98, 1990.

FONTES, L.C.B.; SARMENTO, S.B.S.; SPOTO, M.H.F.; DIAS, C.T.S. Conservação de maçã minimamente processada com o uso de películas comestíveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 872-880, 2008.

GALLO, C.R. **Determinação da microbiota bacteriana de mosto e de dornas de fermentação alcoólica**. 1989. 388p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 1989.

GONSALVES, M.P.J.C.; BOTREL, D.A.; SOARES, N.F.F.; STRINGHETA, P.C. Irradiação gama como alternativa de conservação de polpa de acerola. **Revista Alimento e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 159-163, 2006.

GOULART, P.B.; XAVIER, A.; DIAS, J.M.M. Efeito de antioxidantes no enraizamento de miniestacas de Clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 961-972, 2010.

GORNY, J.R.; HESS-PIERCE, B.; KADER, A.A. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. **Journal of Food Science**, Hoboken, v. 64, n. 3, p. 429-432, 1999.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEADUREMENTS – ICRU. **Fundamental quantities and units for ionizing radiation**. Bethesda, MD: ICRU, 2012. (Report 85a-Revised).

IAEA. **Facts about food irradiation**. Vienna, 1991. 38 p.

KONIKA MINOLTA. **Comunicação precisa da cor**: controle de qualidade da percepção à instrumentação. Ramsey, 1998.

LIMA, R.B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo, 2012.

LUBATTI, M.R.S. Vendedor ambulante, profissão folclórica: pesquisa nas ruas, parques e jardins de São Paulo. **Jangada Brasil**, São Paulo, n. 7, p. 1-2, 1999.

LUPETTI, K.O.; CARVALHO, L.C.; MOURA, A.A.; FATIBELLO-FILHO, O. Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 548-554, 2005.

MELO, A.A.M.; VILAS-BOAS, E.V.B. Inibição do escurecimento enzimático de banana 'Maçã' minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 110-115, 2006.

MELO, A.A.M.; VILAS-BOAS, E.V.B. Redução do amaciamento de banana 'Maçã' minimamente processada pelo uso de tratamentos químicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 821-828, 2007.

MODA, E.M.; SPOTO, M.H.F.; HORII, J.; ZOCCHI, S.S. Uso de peróxido de hidrogênio e ácido cítrico na conservação de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* 'in natura'. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 291-296, 2005.

MOLNAR-PEARL, I.; FRIEDMAN, M. Inhibition of browning by sulfur amino acids: 3. apples and potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 38, n. 8, p. 1652-1656, 1990.

NOVACANA.COM. **Cana-de-açúcar** – Tudo sobre esta versátil planta. Curitiba, 2016. Disponível em: www.novacana.com. Acesso em: 23 out. 2017.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO – NEPA. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO Versão 2 – 2 ed.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

OLIVEIRA, C.G.; SPOTO, M.H.F.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SOUZA, C.P.; GALLO, C.R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 863-873, 2007.

PAULI, F.A. **Teores de fósforos inorgânicos, análise tecnológica e atividade enzimática em cana-de-açúcar**. 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

PEREDA, J.A.O. **Tecnologia de alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294 p.

PÉREZ-GAGO, M.B.; ROJAS-ARGUDO, C.; DEL RÍO, M.A.; MATEOS, M. Reducing enzymatic browning of fresh-cut eggplants by antioxidant application. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 858, p. 235-238, 2010.

PILON, P. **Estabelecimento da vida útil de hortaliças minimamente processadas sob atmosfera modificada e refrigeração.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PODADERA, P. **Estudos das propriedades do açúcar líquido invertido processado com radiação gama e feixe de elétrons.** 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, 2007.

PORTE, A.; MAIA, L.H. Alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas de alimentos minimamente processados. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 105-118, 2001.

QUDSIEH, H.Y.M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R.A. Effect of maturity on chlorophyll, tannin, color and polyphenol oxidase (PPO) activity of sugarcane juice (*Saccharum officinarum* Var. Yellow Cane). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Easton, v. 50, p. 1615-1618, 2002.

RAMOS, P.A.S.; SEDYAMA, T.; VIANA, A.E.S.; PEREIRA, D.M.; FINGER, F.L. Efeito de inibidores da peroxidase sobre a conservação de raízes de mandioca in natura. **Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 116-224, 2013.

RAMPAZO, E.M. **Atividade de enzimas oxidativas em caldo de cana-de-açúcar em função do sistema de plantio.** 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Oeste Paulista, São Paulo.

REECE, J.B.; URRY, L.A.; CAIN, M.L.; WASSERMAN, S.A.; MINORSKY, P.V.; JACKSON, R.B. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. 1442 p.

REYS, V.G. Improved preservation system for minimally processed vegetables. **Food Australia**, Sydney, v. 48, p. 87-90, 1996.

REZZADORI, K. **Pasteurização térmica e com membranas de caldo de cana adicionado suco de maracujá.** 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RICHARD-FORGET, F.C.; GOUPY, P.M.; NICOLAS, J.J. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 2. Kinetic studies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 40, n. 11, p. 2.108-2.113, 1992. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00023a014>. Acesso em: 27 dez. 2018.

ROCCULI, O.; GOMEZ G.F.; MENDOZA, F. Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 43, n. 1, p. 151-157, 2007.

ROSALIN, C.; DOMINGUES, L.; ANTONIO, L.; ARAUJO, M.C.; CARNEIRO, P. **Aminoácidos: estrutura e propriedades.** São Paulo: Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 2016.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System**. Cary, NC, 2008. Disponível em: http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html. Acessado em 20 ago. 2018.

SCOTT, V.N. Interaction of factors to control microbial spoilage of refrigerated foods. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 52, n. 6, p. 431-435, 1989.

SCOTT SMITH, J.S.; PILLAI, S. Irradiation and food safety. **Food Technology**, Chicago, v. 58, n. 11, p. 48-55, 2004.

SINGLETON, V.L.; ROSSI JUNIOR, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagentes. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOCOL, C.R.; SCHWAB, A.; KATSOKA, C.E. Avaliação microbiológica do caldo de cana na cidade de Curitiba. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 116-125, 1990.

SOUNIS, E. **Bioestatística**: princípios fundamentais, metodologia estatística, aplicação às ciências biológicas. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

STUPIELLO, J.P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 761-804.

SUZART, C.A.G. **Desenvolvimento de tecnologia para estabilização física, sensorial e microbiológica de caldo de cana**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2009.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; ESPÍN, J.C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, n. 9, p. 853-879, 2001.

VERRUMA-BERNARDI, M.R.; SPOTO M.H.F. Efeito da radiação gama sobre o perfil sensorial de suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 28-32, 2003.

VILAS BOAS, E.V.B. **Qualidade de alimentos vegetais**. Lavras. UFLA/FAEPE, 2002. 59 p.

WILEY, R.C. **Minimally processed refrigerated fruits & vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. 368 p.