



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO.
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



**EFEITOS DO PROCESSAMENTO POR PLASMA ATMOSFÉRICO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE EM SUCO DE UVA “ISABEL”**

FABIANA LIMA DE MELO

Recife
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

FABIANA LIMA DE MELO

**EFEITOS DO PROCESSAMENTO POR PLASMA ATMOSFÉRICO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE EM SUCO DE UVA “ISABEL”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADORA: MARIA INÊS SUCUPIRA MACIEL

Recife
2015

Ficha Catalográfica

M528e Melo, Fabiana Lima de
sobre as Efeitos do processamento por plasma atmosférico
Fabiana características de qualidade em suco de uva "Isabel" /
Lima de Melo. – Recife, 2015.
80 f.: il.

Orientador(a): Maria Inês Sucupira Maciel.
Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Departamento de Ciências Domésticas,
Recife,
2015.
Referências.

1. Plasma-frio 2. Vitis sp. 3. Sumo 4. Tecnologia de
alimentos
5. Uva I. Maciel, Maria Inês Sucupira, orientador II. Título

CDD 664

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

**EFEITOS DO PROCESSAMENTO POR PLASMA ATMOSFÉRICO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE EM SUCO DE UVA "ISABEL"**

Por: Fabiana Lima de Melo

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em __/__/__ pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Clodomiro Alves Júnior
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof^a. Dr^a. Enayde de Almeida Melo
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Edleide Maria Freitas Pires
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Às pessoas mais especiais em minha vida:
meus pais Marcelo e Ana, meu irmão
Marcelo Júnior e minha querida avó Alice
(*in memoriam*). Dedico!!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, lucidez e forças durante esta etapa.

Aos meus pais, Marcelo Pessoa de Melo e Ana Maria Lima de Melo, e irmão, Marcelo Pessoa de Melo Júnior, pelo amor incondicional, confiança e apoio sempre constante e incansável.

A Renato Silva Fraga, pelo carinho, amizade e companheirismo em todas as horas.

À professora Maria Inês Sucupira Maciel, por ter me acolhido como orientanda e acreditado na realização dessa pesquisa. Obrigada pela confiança, apoio, carinho e pelas valiosas orientações.

Ao professor Clodomiro Alves Júnior, pela confiança ao ceder as instalações do LABPLASMA possibilitando o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pelo acolhimento, dedicação e orientações.

Aos colegas do laboratório LABPLASMA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido pelo carinho e acolhimento, em especial, a Jussier Vitoriano e Isaías Porfirio pela amizade, troca de experiências, discussões e constante disponibilidade em ajudar.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural de Pernambuco pelos ensinamentos, em especial à professora Vera Lúcia Arroxelas Galvão de Lima, pelas primeiras orientações em minha dissertação e à professora Enayde de Almeida Melo pelas valiosas sugestões no desenvolvimento deste trabalho.

À professora Edleide Maria Freitas Pires pela constante dedicação e importantes orientações nas análises microbiológicas.

À minha querida turma, PGCTA 2013.2, exemplo de amizade, união e companheirismo. Jocelane Alves, Sydia Machado, Helen Lima, Tatiana Beker, Robson Lustosa, Augusto Nunes, Keliane Lima, vocês tornaram esse período de longa dedicação em algo prazeroso e divertido.

Aos demais queridos amigos que fiz durante o mestrado, Mariana Fonsêca, Carla Fabiana da Silva, Saulo Emílio, Rita Cristina da Silva e a técnica de laboratório Jaqueline Ferreira.

A todos os familiares e amigos que torceram para conclusão desta etapa.

À Comissão Examinadora pelas contribuições dadas para o enriquecimento deste trabalho.

À Fundação de Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e a Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo financiamento da pesquisa.

Muito obrigada!!!!

EPÍGRAFE

“Tenho em mim todos os sonhos do mundo”

Fernando Pessoa

RESUMO

Recentes estudos tem demonstrado o efeito positivo do plasma atmosférico na inativação de uma gama de microrganismos e esporos; no entanto, menos atenção tem sido dada ao impacto desta tecnologia emergente sobre as características físico-químicas, nutricionais e funcionais dos alimentos. Neste contexto, o presente estudo investiga os efeitos do processamento por plasma atmosférico sobre as características de qualidade em suco de uva integral. Para tanto, o suco de uva, obtido por meio de centrifugação da cultivar “Isabel”, foi exposto por 0 (controle), 1, 2, 4, 6 minutos a um jato de plasma à pressão atmosférica. O plasma foi gerado em gás hélio, mediante a aplicação de uma descarga de barreira dielétrica (DBD) a uma voltagem de 90kV, frequência de 10KHz e um fluxo de gás de 2l/min. As características físico-químicas (pH, sólidos solúveis, acidez titulável, cor, açúcares redutores, fenólicos e antocianinas totais, potencial antioxidante) e microbiológicas (*Escherichia coli*, Coliformes, mesófilos aeróbios, leveduras e bolores) foram confrontadas antes e após o processamento. Os resultados indicam que, dentro das condições experimentais utilizadas, o processamento por plasma atmosférico manteve as mesmas características físico-químicas do suco de uva fresco. Além disso, após seis minutos de tratamento, uma diferença significativa foi encontrada em compostos bioativos, com uma ampliação na concentração de fenólicos, antocianinas e potencial antioxidante. Em relação a qualidade microbiológica, nenhuma unidade formadora de colônia para *Escherichia coli*, Coliformes, mesófilos aeróbios, bolores e leveduras foi observada após dois minutos de tratamento. Contudo, apesar dos resultados encorajadores, investigações mais aprofundadas precisam ser realizadas com o objetivo de detalhar o comportamento do alimento processado durante o seu tempo de vida útil.

Palavras-chave: Plasma-frio. *Vitis* sp. Sumo.

ABSTRACT

Recent studies have proved the positive effect of atmospheric plasma in a range of inactivating microorganisms and spores; however, less attention has been given to the emerging technology of this impact on the physico-chemical, nutritional and functional food. In this context, the present study investigated the effects of processing by atmospheric plasma on the quality characteristics in grape juice. Therefore, grape juice, obtained by centrifugation of the cultivar "Isabel" was exposed for 0 (control), 1, 2, 4, 6 minutes to a cold atmospheric plasma jet. Plasma was generated in helium gas by applying a dielectric barrier discharge (DBD) to a voltage 90kV, frequency of 10KHz and a gas flow of 2l/min. The physico-chemical characteristics (pH, soluble solids, titratable acidity, color, reducing sugars, phenolics and anthocyanins, antioxidant potential) and microbiological (*Escherichia coli*, coliforms, mesophilic aerobic, yeasts and molds) were compared before and after processing. The results indicate that under the experimental conditions used, the processing by atmospheric plasma remained the same physico-chemical characteristics of fresh grapefruit juice. Furthermore, after six minutes of treatment, a significant difference was found in bioactive compounds, at a magnification at a concentration of phenolics and antioxidant activity anthocyanins. Regarding the microbiological quality, no colony forming unit for mesophilic aerobic, molds and yeasts was observed after two minutes of treatment. However, despite the encouraging results, further investigation needs to be conducted in order to detail the food processed behavior during their lifetime.

Keywords: Cold-plasma. *Vitis* sp. Juice.

Listas de Figuras

Figura 1 - Área e produção mundial de uvas - 1993 a 2013	18
Figura 2 - Dinâmica da participação dos continentes na produção mundial de uvas - 1961 a 2013.....	19
Figura 3 - Principais países produtores de uva - 2013.....	20
Figura 4 - Desempenho dos principais países produtores de uva no mundo - 1961 a 2013.....	20
Figura 5 - Dinâmica da produção de uva no Brasil - 1961 a 2013.....	21
Figura 6 - Principais estados brasileiros produtores de uva em 2014.....	23
Figura 7 - Dinâmica da participação dos continentes na produção mundial de suco de uva - 1993 a 2003.....	26
Figura 8 - Maiores países produtores de suco de uva em 2013.....	27
Figura 9 - Dinâmica da produção de suco de uva no Brasil - 1961 a 2013.....	27

ARTIGO I

Figura 1 - Uvas da cultivar Isabel adquiridas em Mossoró-RN para extração do suco.....	45
Figura 2 - Protótipo experimental construído pela equipe de pesquisadores da UFERSA para geração de plasma atmosférico.....	46
Figura 3 - Aplicação do plasma atmosférico no suco de uva.....	47
Figura 4 - Esquema geral de preparação das amostras para análise microbiológica.....	49

ARTIGO II

Figura 1 - Uvas da cultivar Isabel adquiridas em Mossoró-RN para extração do suco.....	67
Figura 2 - Protótipo experimental construído pela equipe de pesquisadores da UFERSA para geração de plasma atmosférico.....	68
Figura 3 - Aplicação do plasma atmosférico no suco de uva.....	69

Listas de Tabelas

Tabela 1 - Regiões brasileiras produtoras de uvas em 2014..... 22

Tabela 2 – Composição nutricional da uva e suco de uva (*Vitis labrusca*) por 100g de alimento comestível.....25

ARTIGO I

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de suco de uva integral em 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV.....51

Tabela 2 – Parâmetros colorimétricos de suco de uva integral em 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV.....54

Tabela 3 – Parâmetros microbiológicos de suco de uva integral em 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV.....57

ARTIGO II

Tabela 1 – Compostos fenólicos totais, antocianinas totais e potencial antioxidante de suco de uva integral após 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV.....71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. PROBLEMA E HIPÓTESE DA PESQUISA.....	14
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 Uva.....	15
3.1.1 Panorama histórico da videira.....	15
3.1.2 Classificação botânica e características gerais.....	16
3.1.3 Uva “Isabel”	17
3.1.4 Produção mundial de uva.....	17
3.1.5 Produção de uva no Brasil.....	21
3.1.6 Suco de uva.....	23
3.1.7 Produção de suco de uva no brasil e no mundo.....	26
3.2 Compostos bioativos.....	28
3.2.1 Compostos fenólicos.....	28
3.2.2 Antocianinas.....	29
3.3 Plasma.....	30
3.3.1 Conceitos gerais sobre o plasma.....	30
3.3.2 Mecanismo de inativação microbiológica por plasma atmosférico.....	31
3.3.3 Aplicação de plasma atmosférico em alimentos.....	32
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1 Artigo I - Efeitos do Processamento por Plasma Atmosférico sobre as Características de Qualidade em Suco de Uva.....	42
5.2 Artigo II - Efeito do Processamento por Plasma Atmosférico sobre a Estabilidade de Compostos Bioativos em Suco de Uva.....	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80

1. INTRODUÇÃO

Pelos efeitos benéficos promovidos à saúde aliada à sua importância econômica, a uva, *Vitis* sp., é uma das frutas mais apreciadas e cultivadas em todo o mundo (SOUZA et al., 2014). Em 2013, a produção mundial de uva situou-se em 77,181 milhões de toneladas (FAO, 2015). No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a colheita da videira atingiu 1,4 milhões de toneladas em 2014, sendo o Sul e Nordeste as principais regiões produtoras no país, detendo, respectivamente, 66,7% e 19,9% da produção nacional. Em Pernambuco, a região semiárida dos municípios de Santa Maria da Boa Vista, Petrolina e Lagoa Grande, detém o posto de maior produtor de uvas da região Nordeste, com 8,6% da produção, com duas safras anuais, diferentemente da região sul que produz uma única safra por ano (IBGE, 2015).

Entre os compostos bioativos presentes na fruta destacam-se os compostos fenólicos, componentes funcionais vastamente divulgados na literatura pelo seu efeito antioxidante capaz de neutralizar a ação de radicais livres e contribuir na prevenção de diversas doenças crônicas (GURAK et al., 2010; PALA; TOKLUCU, 2013).

Embora os compostos fenólicos estejam amplamente distribuídos no reino vegetal, a uva concentra uma das maiores fontes, destacando-se os flavonoides, os estilbenos, os ácidos fenólicos e uma ampla diversidade de taninos (HAMINIUK, et al., 2012; BITTAR et al., 2013).

Pertencentes à família dos flavonoides, as antocianinas são pigmentos vegetais, com potencial antioxidante, responsáveis por uma diversidade de nuances de cores vibrantes que variam do vermelho ao violeta e azul (CAVALCANTI; SANTOS; MEIRELES, 2011). No entanto, apesar de estarem amplamente distribuídas na natureza, estes pigmentos naturais são altamente reativos, podendo degradar-se facilmente pela exposição à luz, pH, oxigênio, temperatura, solventes, presença de enzimas, íons metálicos, entre outros (PATRAS; BRUNTON; TIWARI, 2010; TIWARI et al., 2010; RAWSON et al., 2011).

Na indústria de sucos integrais, a grande instabilidade das antocianinas dificulta o seu potencial comercial devido a elevada perda de coloração do produto com formação de compostos poliméricos de coloração acastanhada, características críticas que afetam a aceitação do produto junto ao consumidor (PATRAS; BRUNTON; TIWARI, 2010; PALA; TOKLUCU, 2013).

Entre os métodos de processamento utilizados em sucos de fruta, a pasteurização é a técnica mais utilizada para garantir a segurança alimentar e ampliar o tempo de prateleira.

No entanto, apesar de garantir a qualidade biológica, a pasteurização, devido ao uso do calor, afeta consideravelmente as características sensoriais e nutricionais dos sucos (MONTENEGRO et al., 2002; TIWARI et al., 2010, RAWSON et al., 2011).

Neste sentido, na tentativa de eliminar ou minimizar ao máximo as desvantagens provocadas pelo tratamento térmico, bem como fornecer aos consumidores um produto mais próximo às características naturais do alimento original, um número emergente de técnicas não térmicas para o processamento de alimentos está sendo desenvolvido (RAWSON et al., 2011; PALA; TOKLUCU, 2013), sendo o uso da tecnologia de plasma atmosférico uma das mais promissoras (MONTENEGRO et al., 2002; HATI et al., 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

Recentes estudos tem voltado suas atenções para o uso do plasma atmosférico com objetivo de garantir a qualidade microbiológica dos alimentos (GUROL et al., 2012; BAIER et al., 2013; BERMUDEZ-AGUIRRE et al., 2013; ZIUZINA et al., 2014). Esta recente técnica, com baixo custo de aplicação e ainda em fase de estudos experimentais, permite o tratamento de alimentos em baixas temperaturas, sendo seu uso adequado principalmente para os que são sensíveis ao calor (AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

O plasma, também conhecido como o quarto estado da matéria, (SELCUK et al., 2008; SUROWSKY et al., 2013) é gerado pela excitação de um gás ou mistura de gases mediante a aplicação de energia em forma de calor, tensão ou campos eletromagnéticos, gerando com isto reações de ionização, excitação e dissociação (BÁRDOS; BARÁNKOVÁ, 2010). Como consequência, vários componentes ativos são formados, tais como radicais livres, radiação ultravioleta e partículas carregadas (MONTENEGRO et al., 2002; SELCUK et al., 2008; BÁRDOS; BARÁNKOVÁ, 2010; GREGORZEWSKI et al., 2011; SHLÜTER et al., 2013; SUROWSKY et al., 2013; TAPPI et al., 2014).

Em configurações comuns para geração de plasma atmosférico são utilizados gases como hélio, oxigênio, nitrogênio, argônio, ozônio ou ainda uma mistura de dois ou mais gases. Esses gases são então excitados quando uma diferença de potencial é aplicada em uma barreira dielétrica (BÁRDOS; BARÁNKOVÁ, 2010; SHLÜTER et al., 2013).

O uso do plasma em alimentos ainda está em fase de estudos experimentais, mas as vantagens geradas com sua aplicação tem impulsionado pesquisas para o desenvolvimento desta técnica em nível industrial (HATI et al., 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014).

Entre as vantagens desta tecnologia não térmica, pode-se destacar: a inativação em baixas temperaturas de uma ampla gama de microrganismos deteriorantes e patogênicos presentes na superfície de alimentos, como leveduras, bolores, bactérias, além de esporos

bacterianos e vírus; tratamento de toda a superfície do alimento em curta duração de tempo, baixa utilização de energia, dispensa do uso de produtos químicos e não geração de resíduos ambientais; pouca variação nas características sensoriais; baixo custo de aplicação (SELCUK et al., 2008; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014). Além destes fatores, foi demonstrado o efeito positivo no uso de plasma na inativação de enzimas, como a peroxidase em tomate (PANKAJ; MISRA; CULLENK, 2013) e polifenoloxidase e peroxidase em um modelo de sistema alimentar (SUROWSKY et al., 2013).

Os estudos desenvolvidos nos últimos anos tem comprovado a eficácia do uso do plasma no tratamento microbiológico em vegetais (BERMÚDEZ-AGUIRRE et al., 2013; ZIUZINA et al., 2014), grãos e cereais (SELCUK et al., 2008), leite (GUROL et al.; 2012), carne (NORIEGA et al., 2011); amêndoas (DENG et al., 2007), amendoim, pistache e avelã (BASARAN et al., 2008), ovos (RAGNI et al., 2010), alimentos minimamente processados (FERNÁNDEZ; NORIEGA; THOMPSON, 2013; BAIER et al., 2013; RAMAZZINA et al., 2015) e embalados (MISRA et al., 2014).

No entanto, apesar de vários estudos terem demonstrado eficácia do processamento na inativação de microrganismos, ainda são escassas pesquisas sobre os efeitos do plasma na qualidade de alimentos de origem vegetal tornando-se fundamental a identificação do impacto desta tecnologia nas características nutricionais, funcionais e físico-químicas dos alimentos. Dessa forma, diante da escassez de estudos com este enfoque, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos do processamento por plasma atmosférico nas características de qualidade em suco de uva integral quanto aos aspectos fitoquímicos, físico-químicos e microbiológicos.

2. PROBLEMA E HIPÓTESE DA PESQUISA

2.1 Problema da Pesquisa

O processamento por plasma atmosférico irá influenciar nas características de qualidade de suco de uva em relação aos aspectos físico-químicos e microbiológicos?

2.2 Hipótese

1. Os compostos bioativos contidos no suco de uva poderão ser afetados negativamente devido à presença de radicais livres, produzidos na geração do plasma atmosférico.
2. As antocianinas, geralmente instáveis quando expostas à luz, poderão sofrer degradação fotoquímica ao serem expostas ao plasma, porém, as características físico-químicas serão preservadas devido ao curto intervalo de tempo aplicado no tratamento do produto e por ser um tratamento não térmico.
3. Em relação à qualidade microbiológica do suco de uva, a redução da carga microbiana será diretamente proporcional ao tempo de aplicação do plasma no produto.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Uva

3.1.1 Panorama histórico da videira

Achados arqueológicos com fósseis de folhas de videiras, oriundas do período terciário, estimam o surgimento da vinha entre o mar Negro e o mar Cáspio, na Ásia, cerca de 65 milhões de anos atrás (THIS; LACOMBE; THOMAS, 2006).

Ao longo do período quaternário, início da era glacial, a Terra coberta por um grande manto de gelo, proporcionou o refúgio da parreira para locais menos atingidos pelo frio, espalhando-a para diversas partes do mundo (SOUZA, 1996).

Além do surgimento da videira anteceder a história da humanidade, o principal produto de seu fruto, o vinho, possui ligações históricas com o desenvolvimento da cultura humana, sendo considerado pelos povos do mediterrâneo uma bebida sagrada, nascida do sangue de seres humanos que haviam lutado contra os deuses (THIS; LACOMBE; THOMAS, 2006). Na era Cristã, o vinho ganhou representação simbólica como sangue de Cristo (SCHLIENGER; MONNIER; COLETTE, 2014).

Em relação a domesticação da videira, evidências arqueológicas resultantes de escavações na Turquia, antiga cidade comercial de Kannish, revelam que a viticultura teve início no Oriente através de comunidades que abandonaram o nomadismo ao final da era do Bronze, 3.500 a.C. (LEÃO; SOARES, 2000).

De seu berço Armênico, a viticultura propagou-se inicialmente por toda Ásia Menor, e, posteriormente, para a Trácia, Península Balcânica, Síria, Egito e Grécia. Mais adiante, através de navegadores fenícios, o cultivo da uva atingiu Roma, França, e outros povos mediterrâneos (SOUZA, 1996).

Com o progresso da domesticação da uva em Roma, a viticultura espalhou-se por toda região europeia, atingindo as Ilhas da Madeira e Canárias. Através de expedições espanholas exploratórias pelo continente americano, a espécie *Vitis vinífera* L., foi introduzida no México e nos Estados americanos da Califórnia e Arizona (LEÃO; SOARES, 2000).

No Brasil, a videira foi introduzida pelos portugueses primeiramente no estado de São Paulo em 1532, na capitania de São Vicente, pela expedição colonizadora de Martim Afonso Souza. Em 1535, o cultivo da uva atingiu o Estado de Pernambuco com a expedição de Duarte Coelho, (SOUZA, 1996), ganhando expressão econômica na Ilha de Itamaracá,

onde foram cultivados os mais importantes vinhedos do país, desde a sua introdução até o final do período da dominação holandesa, por volta de 1936 (LEÃO; SOARES, 2000).

Entretanto, o grande impulso à cultura comercial do fruto no Brasil teve início com a chegada dos imigrantes italianos em São Paulo e Rio Grande do Sul, ao final do século XIX (SOUZA, 1996). Em Pernambuco, o progresso da produção comercial iniciou com a modificação da viticultura do litoral para o ambiente de clima seco do sertão do estado, encontrando um ambiente propício para seu desenvolvimento até os dias atuais (LEÃO; SOARES, 2000).

3.1.2 Classificação botânica e características gerais

A uva é o fruto da videira, *Vitis* sp., planta angiosperma dicotiledônea, também conhecida como parreira ou vinha, pertencente à família *Vitaceae*, gênero *Vitis* ($2n=38$). Possui 30 espécies, segundo a classificação de Planchon (1887), entre as quais destacam-se a *Vitis vinífera*, uvas finas de origem europeia, e a *Vitis labrusca*, uvas rústicas nativas da América do Norte (SOUZA, 1996).

Espécie mais utilizada na produção de vinhos finos, a *Vitis vinífera*, é um arbusto trepador perene, lenhoso, com folhagens cartáceas, discolors bastante variáveis com 12-24cm de comprimento. Possui flores andrógenas discretas, dispostas na mesma inflorescência do tipo tirso. Suas bagas são globosas, de epicarpo fino, com polpa suculenta doce ou ácida. São pertencentes a espécie *Vitis vinífera* as variedades “Moscatel de Hamburgo”, “Benikata”, “Cabernet Sauvignon”, “BRS Clara”, “BRS Morena” “Italia”, “Merlot”, “Perlona”, “Redglobe”, “Rubi” e “Thompson Seedless”, também nomeada “Sultamina” (LORENZI, 2009).

Com frutos utilizados principalmente para consumo *in natura* e na produção de sucos e vinhos rústicos, a *Vitis labrusca* ou *Vitis labruscana* é uma liana perene, lenhosa, robusta. Suas folhas coriáceas possuem formato variável, medindo de 15-30cm de comprimento, com a superfície superior verde-escura e a inferior verde clara. Suas flores são do tipo tirso, andrógenas e dispostas numa mesma inflorescência. Os frutos possuem formato globoso, com epicarpo liso e fino, polpa suculenta com sabor doce-acidulado, possuindo 2-4 sementes. São pertencentes a espécie *Vitis labrusca* as variedades “Bordô”, também denominada “Bordeaux” ou “Ives Seedlin”, “Niágara Rosada”, “Concord”, “Isabel” ou “Isabela”, “Niágara Branca”, “Niágara sem Sementes”, “Vênus” (LORENZI, 2009).

3.1.3 Uva “Isabel”

Uma das principais cultivares da *Vitis labrusca*, a uva “Isabel”, também nomeada “Isabella”, “Brasileira” ou “Nacional” (LORENZI, 2009) é uma espécie híbrida natural de *Vitis labrusca* X *Vitis vinífera* (NIXDORF; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, 2010).

A cultivar originária do sul dos Estados Unidos, foi introduzida no Brasil primeiramente no Estado do Rio Grande do Sul, entre os anos de 1839 e 1842, sendo nos dias atuais o estado com maior produção de uva “Isabel” no país (ROMBALDI et al., 2004).

Na região nordeste, a Zona da Mata de Pernambuco, é destaque no cultivo de uva “Isabel” para consumo in natura, sendo uma das principais atividades da agricultura familiar na região. A cultivar foi introduzida na Zona da Mata pernambucana em 1944 e atualmente possui uma área plantada em torno de 600 hectares, 90% localizado no município de São Vicente Ferrer, 5% em Macaparana e os demais 5% nos municípios de Vicência, Timbaúba e Vitória de Santo Antão (TAVARES, LIMA, 2009).

A cultivar é responsável por cerca de 50% da produção brasileira de uva, sendo seu uso destinado principalmente à produção de vinho tinto comum, suco de uva, compota, geléia e comercialização da fruta *in natura* (NIXDORF, HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, 2010).

O crescimento no cultivo da uva “Isabel” no Brasil deu-se devido a sua fácil adaptação a variações climáticas, poucas intervenções de manejo, alta produtividade e resistência às pragas (ROMBALDI et al., 2004; NIXDORF; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, 2010).

São características da uva Isabel cachos médios, bagas tintas arredondadas recobertas de pruína, polpa sucosa com sabor doce e aroma foxado devido ao seu elevado teor de antranilato de metila, responsável pelo aroma forte da espécie (LORENZI, 2009).

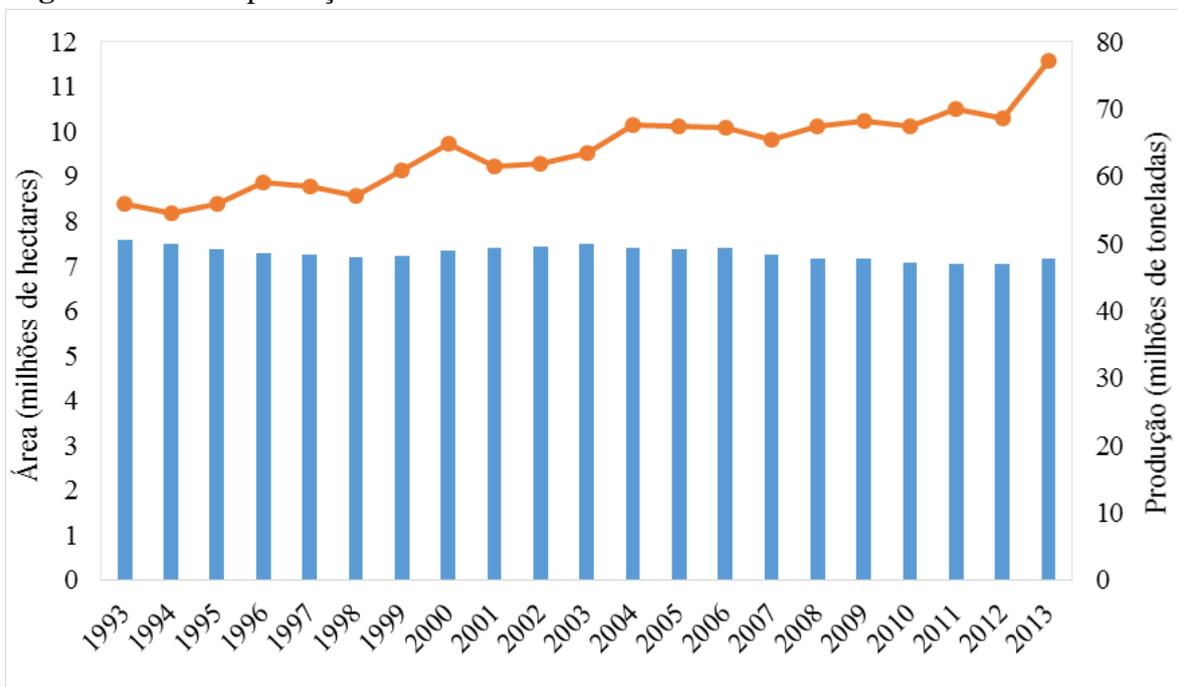
3.1.4 Produção mundial da uva

Videira é a horticultura de maior cultivo e valor econômico no mundo (THIS, LACOMBE; THOMAS, 2006; ZECCA et al., 2012). Em 2013, seus números de produção atingiram 77,18 milhões de toneladas colhidas a partir de 7,15 milhões de hectares, com rendimento médio de 107,86 mil hg/ha (FAO, 2015).

Conforme dados da Food and Agriculture Organization (2015), a viticultura mundial apresentou uma ligeira redução nas duas últimas décadas. Em 1993, 7,57 milhões de hectares foram dedicados à cultura de videiras e no ano de 2013 esse número regrediu para 7,15

milhões, representando uma queda de 5,6%. No entanto, mesmo com o encurtamento do setor em área plantada, houve neste mesmo período um melhoramento significativo na produção das videiras cultivadas, avançando de 55,85 para 77,18 milhões de 1993 para 2013, respectivamente, representando um acréscimo de 38% (Figura 1).

Figura 1 - Área e produção mundial de uvas - 1993 a 2013



Fonte: FAO (2015).

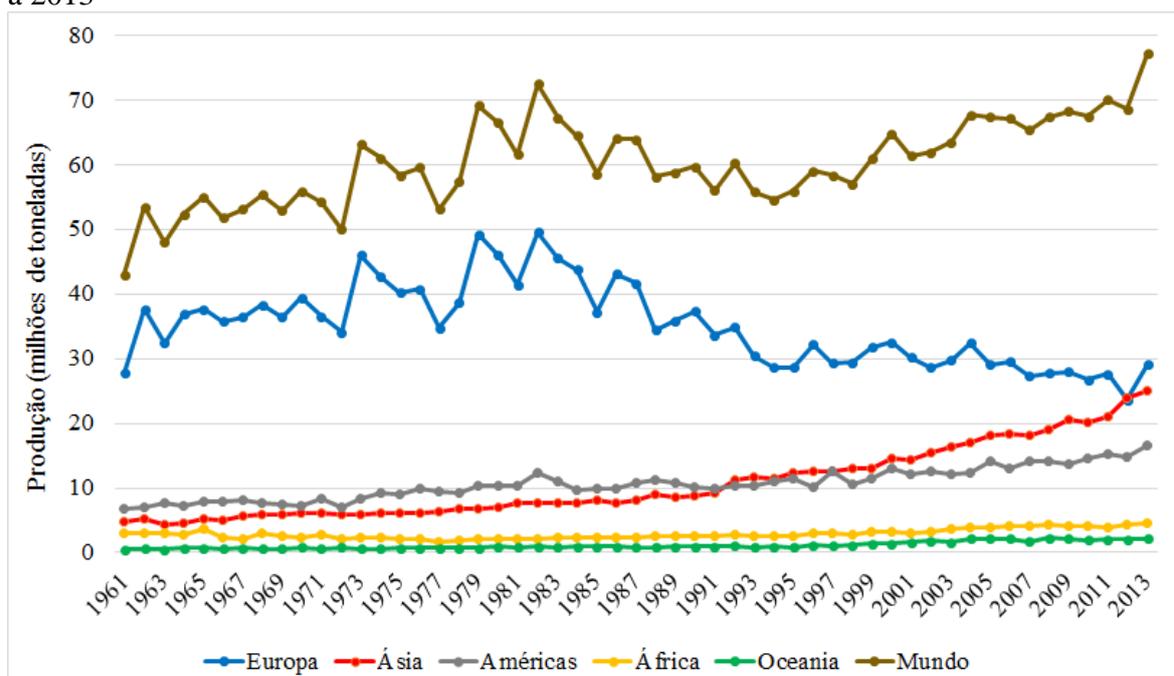
Em relação a distribuição por continente, tradicionalmente a viticultura europeia lidera o ranking mundial, detendo 37,7% da oferta total de uvas em 2013, valor correspondente a 29,07 milhões de toneladas. Itália, Espanha e França são responsáveis pelas maiores participações, representando juntas 72% de toda produção do continente europeu. Entretanto, os últimos vinte e cinco anos, a viticultura na região vem assumindo trajetória decrescente em virtude da queda de produção por fortes variações climáticas em algumas regiões europeias (FAO, 2015).

Diferentemente do continente europeu, nas últimas décadas a Ásia vem expandindo a sua participação no setor. Em 2013 foram produzidas na região 24,97 milhões de toneladas, representando 32,4% do total de uvas produzidas no mundo. Esse incremento deve-se principalmente aos excelentes índices de produção na China que em apenas doze anos vem figurando, em escala crescente, no ranking entre os cinco maiores produtores de uvas do mundo (FAO, 2015).

Em 2013, a contribuição do continente americano atingiu 17,6%, valor correspondente a 16,53 milhões de toneladas, ocupando o terceiro lugar no segmento mundial. Estados Unidos, Chile e Argentina são os principais fornecedores de uva da região, cujas ofertas são, respectivamente 46%, 19% e 17% (FAO, 2015).

A Oceania e África representam os menores índices de produção de uvas no mundo, com 4,46 e 2,13 milhões de toneladas de uvas colhidas em 2013, representando, 5,8 e 2,8% da oferta mundial, respectivamente (Figura 2).

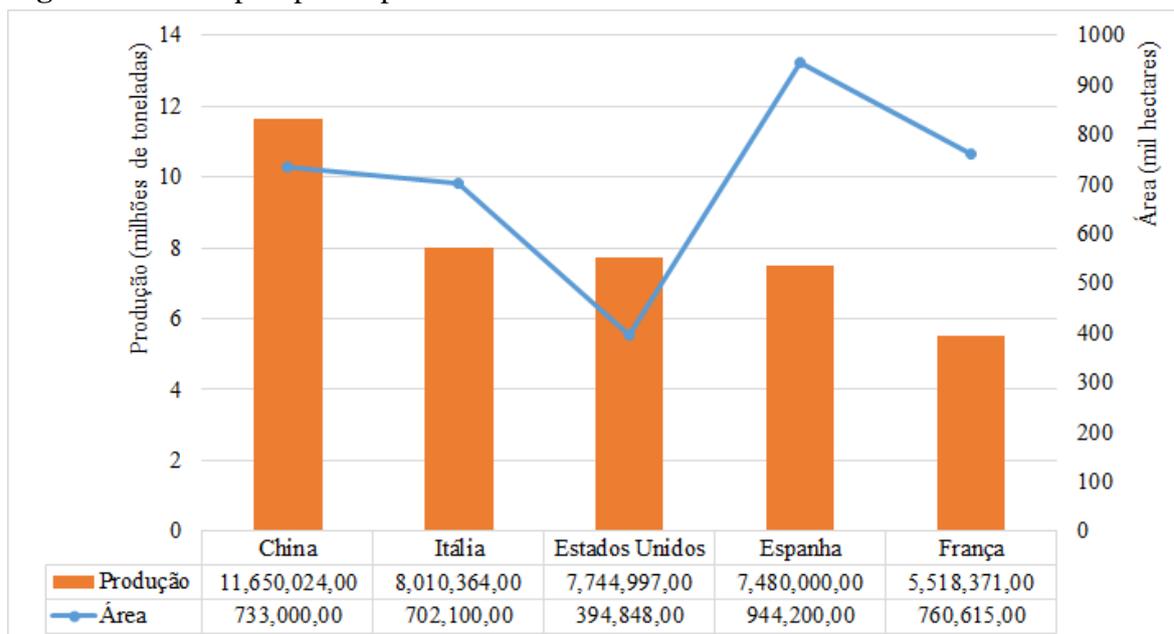
Figura 2 - Dinâmica da participação dos continentes na produção mundial de uvas - 1961 a 2013



Fonte: FAO (2015).

Em relação aos cinco principais produtores mundiais de *Vitis* sp., destacam-se a China, Itália, Estados Unidos, Espanha e França, respectivamente. Quanto a área de plantio dedicado a videiras, a Espanha ocupa o primeiro lugar, seguido pelos países da França, China, Itália e Estados Unidos, conforme dados da FAO (2015) descritos na Figura 3.

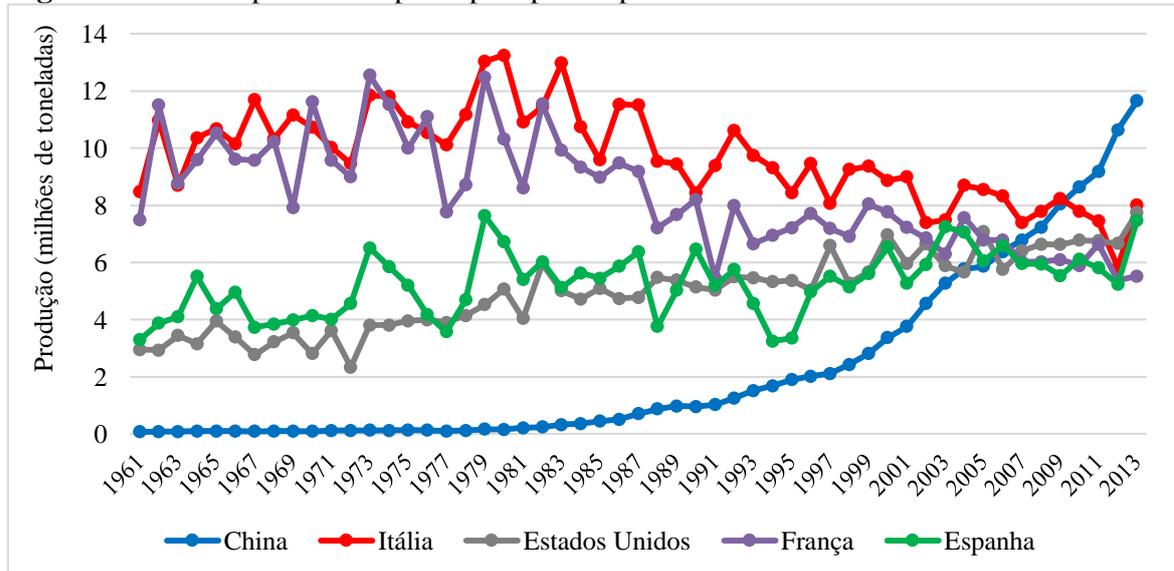
Figura 3 – Principais países produtores de uva - 2013



Fonte: FAO (2015).

Devido à queda no rendimento de vinhas europeias e elevada produção de parreiras americanas e chinesas após o início do século XXI, os países europeus Itália, França e Espanha que historicamente detinham as três primeiras colocações na viticultura mundial, respectivamente, perderam as suas lideranças para China e Estados Unidos que atualmente ocupam o primeiro e terceiro lugar. A Figura 4 demonstra, segundo dados da FAO (2015), o desempenho dos principais países produtores de uva no mundo entre os anos de 2000 a 2013, em milhões de toneladas.

Figura 4 – Desempenho dos principais países produtores de uva no mundo - 1961 a 2013

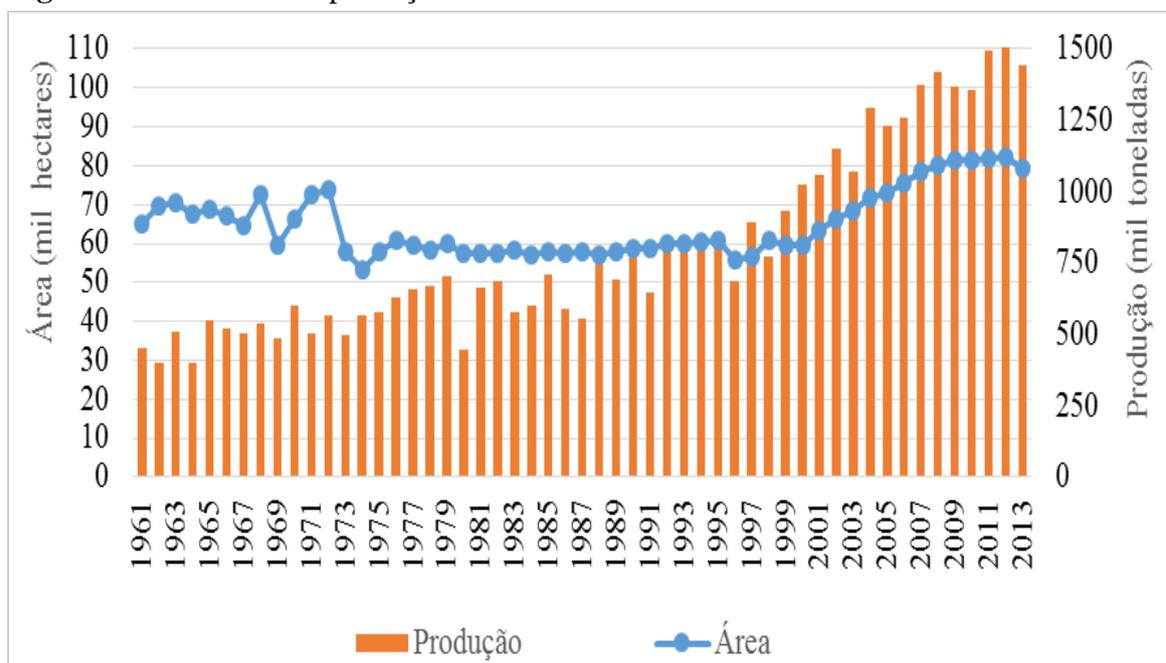


Fonte: FAO (2015).

3.1.5 Produção de uva no Brasil

O Brasil figura-se como vigésimo maior produtor de uvas no mundo. Conforme dados da FAO (2015), a produção de *Vitis* sp. no país cresceu 319% nas últimas cinco décadas (Figura 5). Em 2013, a viticultura nacional deteve 8,7% do total de uvas produzidas no mundo.

Figura 5 – Dinâmica da produção de uva no Brasil – 1961 a 2013



Fonte: FAO (2015).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), a produção nacional de *Vitis* sp. situou-se em 1,4 milhões toneladas colhidas a partir de 79.168 hectares de área plantada, representando um rendimento de 18.154 Kg/ha, em 2014 (Tabela 1).

Tabela 1 - Regiões brasileiras produtoras de uvas em 2014

Área	Produção (t)	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Rendimento (Kg/ha)
BRASIL	1.437.245	80.548	79.168	18.154
SUL	960.772	61.507	60.405	15.906
RS	812.537	51.005	49.998	16.251
PR	80.910	5.580	60.405	14.500
SC	67.325	4.922	4.827	13.948
NORDESTE	314.796	9.761	9.686	32.500
PE	236.719	6.872	6.799	34.817
BA	77.504	2.864	2.862	27.080
CE	573	25	25	22.920
SUDESTE	158.347	9.142	8.939	17.714
SP	146.790	8.308	8.155	18.000
MG	11.557	834	784	14.741
CENTRO-OESTE	3.330	138	138	24.130
GO	3.330	138	138	24.130
NORTE	-	-	-	-

Fonte: IBGE (2015).

Entre as regiões com maior desenvolvimento no setor de viticultura no país, destacam-se o sul e o nordeste, detendo, respectivamente, 960 e 314 mil toneladas de uvas, números que correspondem a 66,7% e 19,9% da produção nacional (IBGE, 2015).

O Rio Grande do Sul, utilizando práticas correspondentes às adotadas nos países de clima temperado, destaca-se como o maior produtor brasileiro de uva, seguido pelos estados de Pernambuco, São Paulo, Bahia e Paraná. (Figura 6).

Figura 6 – Principais estados brasileiros produtores de uva em 2014



Fonte: IBGE (2015).

Os municípios pernambucanos pertencentes a região do Vale de São Francisco como Santa Maria da Boa Vista, Lagoa Grande e Petrolina destacam-se na viticultura internacional por possuir um cenário de produção única no mundo, com duas safras anuais, devido ao seu clima tropical. O destaque da região, que também engloba cidades do Estado da Bahia, é de vinho e uvas finas de mesa, detendo 95% das exportações brasileiras da fruta in natura (LIMA et al., 2014).

3.1.6 Suco de uva

Conforme a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, regida pelo Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, suco é a bebida não fermentada, não concentrada, não diluída, destinada ao consumo, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo.

Desde que obedecida as características legislativas previstas (BRASIL, 1994; BRASIL, 2009), o suco poderá apresentar as seguintes classificações:

- Suco integral: sem adição de açúcares e na sua concentração natural.
- Suco desidratado: em estado sólido, obtido pela desidratação do suco integral.
- Suco concentrado: parcialmente desidratado.

- Suco misto: obtido pela mistura de frutas, combinação de fruta e vegetal, combinação das partes comestíveis de vegetais ou mistura de suco de fruta e vegetal.
- Suco reconstituído: obtido pela diluição de suco concentrado ou desidratado, até a concentração original do suco integral ou ao teor mínimo de sólidos solúveis estabelecido nos respectivos padrões de identidade e qualidade para cada tipo de suco integral.

Pelo sabor característico marcante aliado aos efeitos benéficos produzidos à saúde humana, o suco sabor uva é um dos mais apreciados e consumidos em todo o mundo (XIA et al., 2010). Além do sabor adocicado devido aos altos níveis de açúcares, como a glicose e a frutose, é característica marcante do suco de uva a sua acidez pela presença dos ácidos tartárico, málico e cítrico, que conferem à bebida um pH baixo e equilíbrio entre os gostos doce e ácido (GURAK et al., 2010).

Os sucos do fruto da videira também apresentam em sua composição uma vasta gama de compostos fenólicos, substâncias funcionais que além de atribuírem características organolépticas marcantes à bebida, como cor e adstringência (CHEYNIER, 2005), são responsáveis por diversos efeitos benéficos ao organismo humano quando incluídos na rotina alimentar (XIA et al., 2010; HAMINIUK et al., 2012)

Entre os compostos fenólicos presentes na uva destacam-se os não-flavonoides (resveratrol) e os flavonoides (antocianinas, procianidinas, catequinas, quercetina e epicatequina), capazes de neutralizar a ação de radicais livres contribuindo na prevenção de diversos efeitos patológicos tais como doenças cancerígenas, inflamatórias, cardíacas, pulmonares, neurológicas (HAMINIUK et al., 2012). Além disso, contribuem na prevenção do envelhecimento precoce, melhora da função endotelial e diminuição do colesterol total (XIA et al., 2010)

Em relação aos micronutrientes, o sumo de uva possui em sua composição cálcio, ferro, magnésio, fósforo, potássio, sódio, zinco, vitaminas A, C, K e do complexo B. No entanto, essa composição química poderá ser influenciada conforme a variedade da espécie, clima e solo de cultivo da videira bem como tecnologia agrícola adotada, uso de fertilizantes e herbicidas (NATIVIDADE, et al., 2013).

A comparação nutricional entre suco de uva e a fruta in natura encontra-se descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição nutricional da uva e suco de uva (*Vitis labrusca*) por 100g de alimento comestível

Principais componentes	Unidade	Uva	Suco de Uva
Água	g	81,30	84,51
Energia	Kcal	67	60
Proteína	g	0,63	0,37
Lipídios	g	0,35	0,13
Carboidratos	g	17,15	14,77
Fibra alimentar	g	0,9	0,2
Monossacarídeos	g	16,25	14,20
Cálcio	mg	14	11
Ferro	mg	0,29	0,25
Magnésio	mg	5	10
Fósforo	mg	10	14
Potássio	mg	191	104
Sódio	mg	2	5
Zinco	mg	0,04	0,07
Vitamina C	mg	4,0	0,1
Tiamina	mg	0,092	0,017
Riboflavina	mg	0,057	0,015
Niacina	mg	0,300	0,133
Piridoxina	mg	0,110	0,032
Ácido fólico	µg	4	0
Vitamina A	µg	5	0
Vitamina E	mg	0,19	0
Vitamina K	µg	14,6	0,4

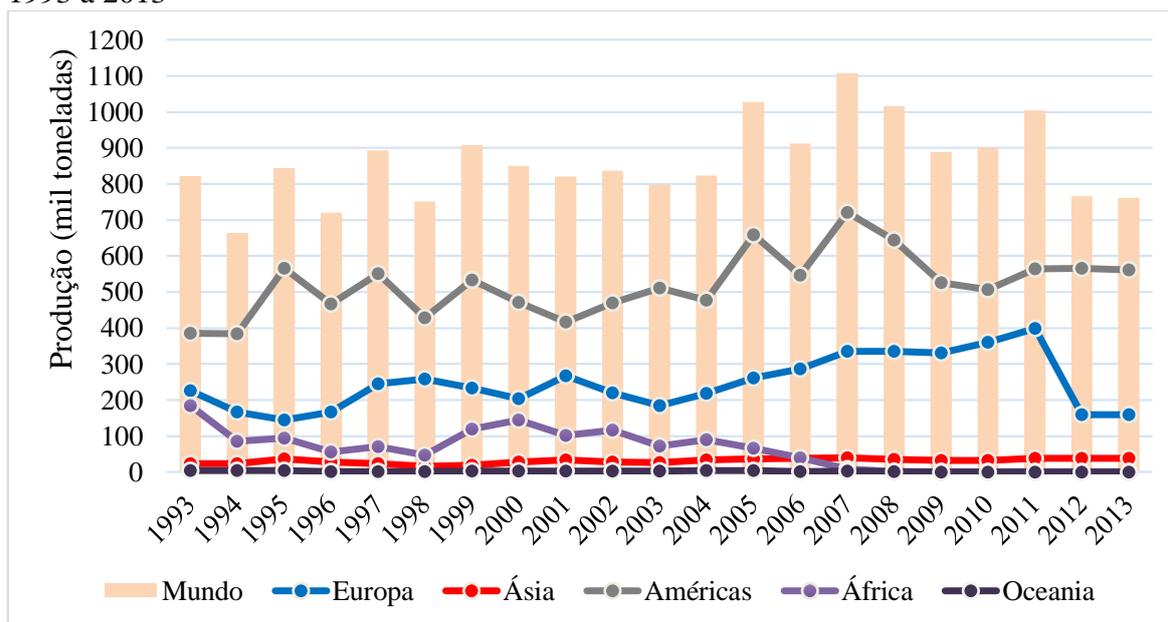
FONTE: USDA (2015).

Em relação as características físico-químicas de suco de uva comercial, a Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, regida pelo Decreto nº 8.198, de 20 de fevereiro de 2014 estabelece que a bebida apresente um teor mínimo de sólidos solúveis de 14°Brix, acidez total mínima de 0,41g/100g de ácido tartárico e açúcares totais naturais máximos de 20,0g/100 g.

3.1.7 Produção de suco de uva no brasil e no mundo

Segundo dados da FAO (2015), a produção mundial de suco de uva situou-se em 761 mil toneladas em 2013. A região de maior destaque no setor é o continente americano que obtém 73,7% da produção mundial, seguido pelos continentes europeu, asiático, africano, com 21%, 5,1%, 0,2%, respectivamente. A Figura 7 demonstra a dinâmica da participação dos continentes na produção mundial de uvas entre 1993 a 2013 em mil toneladas.

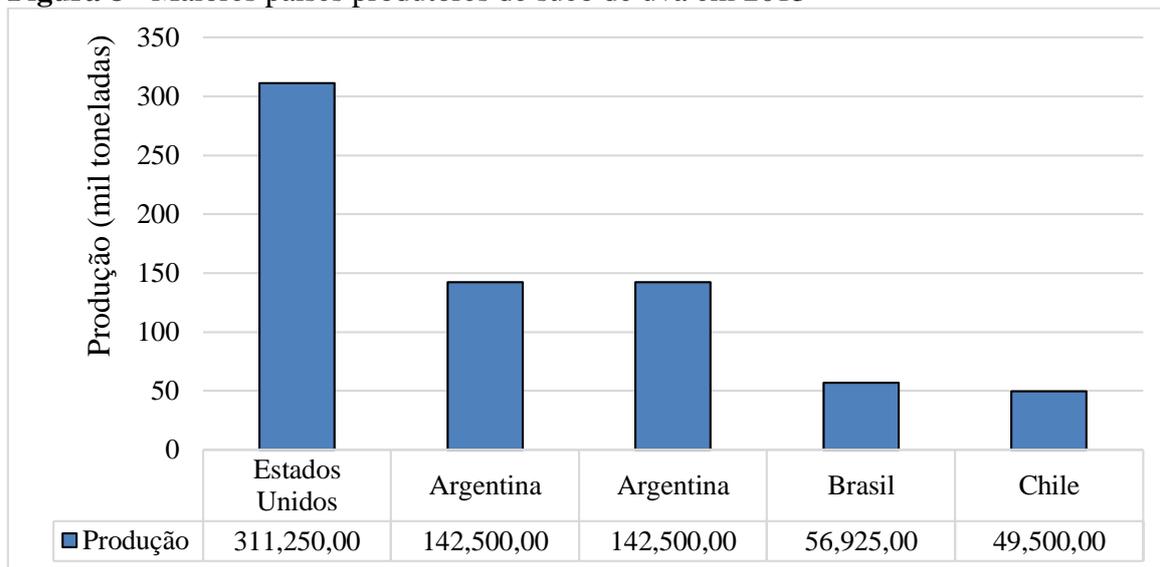
Figura 7 - Dinâmica da participação dos continentes na produção mundial de suco de uva - 1993 a 2013



Fonte: FAO (2015).

Entre os países com maior fabricação de suco de uva no ano de 2013, quatro pertencem ao continente americano, sendo os Estados Unidos o líder do setor com uma produção de 311 mil toneladas da bebida, o que corresponde a 40,8% o total produzido no mundo. Argentina, Espanha, Brasil e Chile ocupam as demais colocações no ranking entre os cinco maiores produtores a nível mundial (Figura 8).

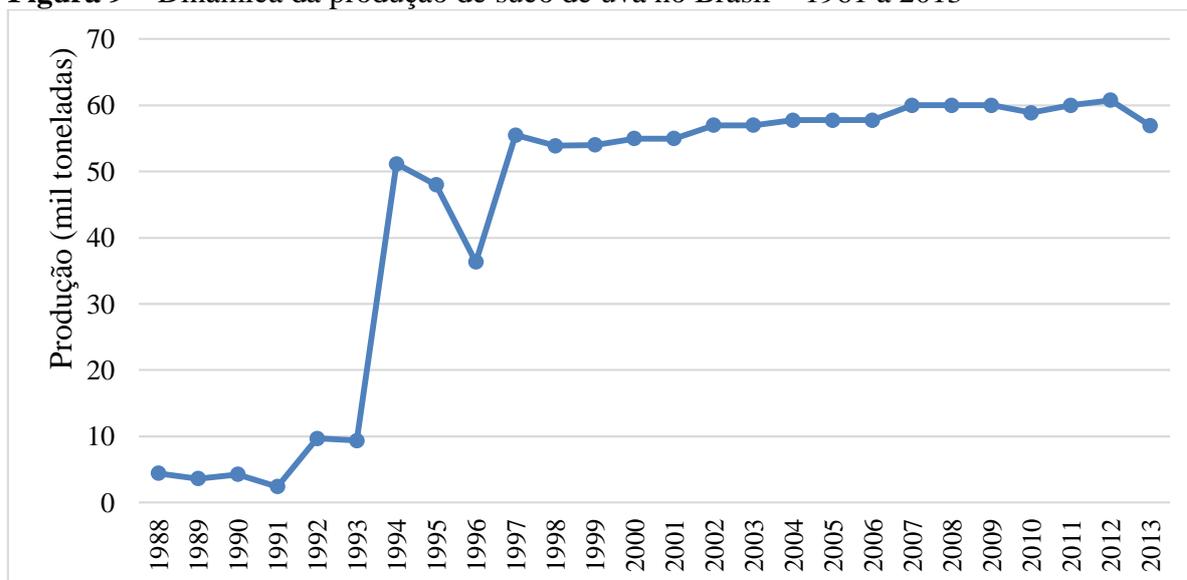
Figura 8 - Maiores países produtores de suco de uva em 2013



Fonte: FAO (2015).

Quarto produtor de suco de uva no mundo, o Brasil, produz em média 57 mil toneladas, representando 7,5% da industrialização da bebida em nível mundial (FAO, 2015). Conforme demonstra a dinâmica da produção de suco de uva no Brasil de 1961 a 2013, não houve incremento significativo na escala de produção da bebida entre os anos de 1997 a 2012, havendo um ligeiro declínio em 2013 (Figura 9).

Figura 9 – Dinâmica da produção de suco de uva no Brasil – 1961 a 2013



Fonte: FAO (2015).

3.2 Compostos bioativos

3.2.1 Compostos fenólicos

Os fenólicos são uma classe de compostos metabólitos secundários, representada por mais de oito mil diferentes variedades. São produzidos pelas plantas em resposta ao estresse a agentes agressores como a radiação ultravioleta e ataque de patógenos (CAVALCANTI; SANTOS; MEIRELES, 2011; HAMINIUK et al., 2012). Além de vegetais, também são produzidos por algumas espécies de fungos (LEWANDOWSKA et al., 2013).

Em relação a característica química, possuem em sua estrutura anéis benzênicos associados a diferentes posições de grupamentos hidroxilas. Essa diferenciação faz com que os compostos fenólicos dividam-se em diversos grupos, como os ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos e ligninas (HAMINIUK et al., 2012). A estrutura desses compostos bioativos permite uma ampla variedade de funções, destacando-se a propriedade antioxidante, quelante de íons metálicos e a formação de ligações de hidrogênio que podem causar precipitação ou sabor adstringente (CHEYNIER, 2005).

Nas plantas, além da função biológica de proteção contra pragas, doenças, oxidação e raios ultravioletas, os compostos fenólicos também servem como chamarizes para insetos polinizadores (HAMINIUK et al., 2012). Somando-se a essas funções, ainda são de responsabilidade destes componentes grande parte das características organolépticas de alimentos e bebidas de origem vegetal, particularmente propriedades de cor e sabor (CHEYNIER, 2005). Estudos recentes demonstram que ao serem associados à rotina alimentar, os fenólicos podem trazer benefícios bioprotetores à saúde humana devido a sua ação antioxidante capaz de interceptar os radicais livres gerados pelo metabolismo celular ou por fontes exógenas (GURAK et al., 2010; PALA; TOKLUCU, 2013). Na indústria de alimentos, a utilização desses componentes ganha cada vez mais destaque como agentes antimicrobianos, antioxidantes, corantes e como potencial funcional em alimentos (HAMINIUK et al., 2012).

Entre a grande vastidão de compostos fenólicos presentes em alimentos de origem vegetal, a uva concentra uma das maiores fontes, sendo os constituintes mais presentes na fruta após a água e açúcares (XIA et al., 2010). Entre os polifenóis presentes no fruto das videiras destacam-se as proantocianidinas, antocianinas, flavonóis, flavanonas, resveratrol e ácidos fenólicos, que conferem à uva e alguns de seus produtos derivados, como o vinho e o suco da fruta, o status de alimento funcional por possibilitar a promoção de ações

antioxidantes, cardioprotetoras, anticancerígenas, anti-inflamatórias no organismo humano, ao serem introduzidos como parte da rotina alimentar (XIA et al., 2010).

A concentração total de compostos fenólicos sofre influências conforme a espécie, gênero, cultivar, estágio de maturação, condições climáticas, solo, origem geográfica e práticas de cultivo ou exposição a doenças, tais como infecções fúngicas (XIA et al., 2010; FRACASSETI et al., 2011; HAMINIUK, et al., 2012). Além desses fatores, dividem-se de maneira não uniforme na estrutura da fruta, estando presentes 60% em sementes, 30% no epicarpo e 10% na polpa (MUÑOZ; MESTRES; BUSTO; GUASCH, 2008; XIA et al., 2010). Neste contexto, embora a *Vitis* sp. possua uma excelente fonte de compostos fenólicos, isso não é fator determinante para que seus produtos derivados também forneçam ótimas fontes. O não aproveitamento de resíduos da fruta, bem como o tipo de tratamento aplicado na produção de seus subprodutos, influenciará consideravelmente na quantidade de compostos bioativos presentes no produto derivado do fruto *in natura* (TIWARI et al., 2010; BITTAR, et al., 2013).

3.2.2 Antocianinas

As antocianinas (do grego anthos, flor; e kianos, azul) são pigmentos naturais solúveis em água responsáveis por uma ampla diversidade de cores encontradas em frutos, flores, folhas, raízes e caules de plantas, que variam do laranja, vermelho, violeta, roxo e azul (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009; CAVALCANTI; SANTOS; MEIRELES, 2011). Pertencentes à família dos flavonoides, a molécula de antocianina é formada por uma aglicona denominada antocianidina, ligada covalentemente a um grupo de açúcares e, frequentemente um grupo de ácidos orgânicos. Entre os açúcares encontrados com maior frequência à molécula estão a glicose, galactose, raminose, arabinose e xilose (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009).

Nos vegetais, as antocianinas além de atuarem como corantes de flores e frutas, e filtro das radiações ultravioleta nas folhas, em algumas plantas elas atuam na melhoria do regulamento da fotossíntese e resistência a patógenos (XIA et al., 2010). Quando introduzidas na rotina alimentar estes pigmentos estão associados a uma variedade de benefícios à saúde, incluindo a redução de fatores de risco de doenças cardiovasculares, melhoramento do metabolismo da glicose, além de ação anticancerígena, anti-inflamatória (XIA et al., 2010; CAVALCANTI, SANTOS, MEIRELES, 2011).

Na indústria de alimentos, as antocianinas são empregadas como corantes naturais. Entretanto, possuem utilização bastante restrita devido à sua baixa estabilidade a diversos fatores, tais como pH, temperatura, luz, oxigênio, estocagem, interações entre componentes presentes nos alimentos como íons metálicos, ácido ascórbico, açúcares e co-pigmentos (LOANNOU et al., 2012). Além disso, as antocianinas são susceptíveis a degradação por enzimas endógenas presentes em plantas (peroxidases, polifenoloxidasas e glicosidasas (CAVALCANTI, SANTOS, MEIRELES, 2011).

As uvas possuem uma complexa variedade de antocianinas cuja quantidade e composição irão diferir conforme a espécie, variedade, cultivar, condições climáticas e nível de maturidade do fruto (XIA et al., 2010; FRACASSETI et al., 2011; HAMINIUK, et al., 2012). Em relação ao suco de uva, a concentração e nível de degradação das antocianinas irá variar conforme o tipo de processamento em que o produto for submetido. Extração a quente em curto período de tempo ou esmagamento vigoroso ampliam os níveis de antocianinas extraídas do epicarpo para o suco, porém exposição excessiva degradará esses pigmentos naturais pela sua instabilidade a temperaturas elevadas (LOANNOU et al., 2012).

3.3. Plasma

3.3.1 Conceitos gerais sobre o plasma

Também conhecido como o quarto estado da matéria, o plasma consiste em um gás ionizado formado por diferentes espécies reativas, tais como elétrons livres, íons positivos e negativos, radicais livres, fótons e átomos de gás. É formado a partir da excitação de um gás ou mistura de gases mediante aplicação de uma pressão e energia, podendo esta última ser do tipo mecânica, térmica, nuclear, radiano ou via corrente elétrica (MISRA et al., 2014).

É considerado como a forma de matéria mais abundante do universo, chegando a compor cerca de 99%. Entre as formas naturais presentes na natureza destacam-se a presença de plasma em galáxias e nebulosas, vento solar, ionosfera terrestre, auroras Austral e Boreal, estrelas, raios (MACHALA et al., 2007).

Apesar de estar presente de forma natural no universo, o plasma pode ser produzido em laboratório através da aplicação de uma diferença de potencial entre dois eletrodos a um gás ou mistura de gases. Quando uma diferença de potencial é aplicada em um sistema hermeticamente fechado e a uma pressão suficientemente baixa, elétrons e íons são

acelerados pelo campo elétrico, colidindo com outras partículas e produzindo o plasma (SUROWSKY et al., 2013). Para excitação do gás é comum o uso de energia na forma de tensão, calor, campos eletromagnéticos, descargas de barreira dielétrica, de radiofrequência ou de arco, entre outras (MONTENEGRO et al., 2002; SHÜLTER et al., 2013; SUROWSKY et al., 2013; ZIUZINA et al., 2014).

Em função do tipo e quantidade de energia transferida, o quarto estado da matéria poderá ser classificado como térmico ou não térmico (AFSHARI, HOSSEINI, 2014). Plasmas térmicos possuem seus elétrons, íons e espécies neutras em equilíbrio termodinâmico. Por outro lado, os plasmas não térmicos, por não apresentarem equilíbrio termodinâmico, possuem elétrons com uma temperatura muito mais elevada em relação aos seus demais constituintes. Além disso, enquanto o plasma frio possui apenas uma pequena fração das moléculas de gás ionizadas, o plasma denominado quente encontra-se quase totalmente ionizado (SHÜLTER et al., 2013).

Devido à alta temperatura do gás, o plasma térmico é utilizado em processos industriais de soldagem, corte e destruição de resíduos. Já entre as áreas de interesse de aplicação do plasma não térmico destacam-se as ambientais (controle da poluição do ar, limpeza das águas residuais e reciclagem de materiais não degradáveis), biomédicas (biodescontaminação e esterilização), industriais (tratamento de superfícies de materiais, blindagem de ondas eletromagnéticas, beneficiamento de carbono, crescimento de nanotubos e análise de elementos, lâmpadas, televisores) (MACHALA et al., 2007) e, recentemente, em alimentos na qualidade microbiológica (NIEMIRA, 2012; SHÜLTER et al., 2013).

3.3.2 Mecanismo de inativação microbiológica por plasma atmosférico

O plasma é composto de moléculas de gás que por uma indução de energia, dissociam-se em fótons, elétrons, íons positivos e negativos, átomos, moléculas e radicais livres excitados e não excitados que, em combinação, possuem a capacidade de inativar microrganismos (RAMOS; BRANDÃO; SILVA, 2013).

Os plasmas mais utilizados para fins de descontaminação são os do tipo frio, que podem ocorrer em baixa pressão ou pressão atmosférica. Sua eficácia atinge uma ampla gama de microrganismos, como bolores, leveduras, bactérias, esporos e vírus utilizando temperaturas menores de 30°C e curto período de tempo (SHÜLTER et al., 2013).

A primeira utilização desta tecnologia como um agente de esterilização foi relatada em 1968 por Menashi, ao inativar, em menos de um segundo, 106 esporos presentes em tubos de ensaio, utilizando plasma atmosférico gerado em gás argônio energizado por campos pulsados de radiofrequência (NIEMIRA, 2012). Apesar de não estar totalmente elucidado pela literatura, há três mecanismos prováveis pelos quais os plasmas atmosféricos inativam microrganismos. O primeiro é o efeito oxidativo provocado pela interação química entre espécies reativas do plasma na superfície externa de células microbianas. A segunda possibilidade é o ressecamento das membranas celulares provocadas por componentes internos da luz ultravioleta gerada pelo plasma. E por fim, as cadeias de DNA do microrganismo podem ser quebradas pela radiação ultravioleta gerada durante a recombinação de espécies reativas do plasma, e como resultado, dificultar a sua replicação celular (NIEMIRA, 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014).

3.3.3 Aplicação de plasma atmosférico em alimentos

A demanda de consumidores por alimentos seguros, nutritivos e com características organolépticas atraentes tem impulsionado a área de tecnologia de alimentos a buscar técnicas de processamento mais amenas em substituição ao processamento térmico convencional (RAWSON et al., 2011; PALA; TOKLUCU, 2013). Entre as tecnologias de processamento sem utilização de calor, o plasma atmosférico vem ganhando destaque como uma das mais promissoras (MONTENEGRO et al., 2002; HATI et al., 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

Estudos desenvolvidos na última década tem relatado o plasma frio como uma alternativa promissora na tecnologia alimentar capaz de esterilizar a maioria dos microrganismos em alimentos sensíveis ao calor (ROD et al., 2012; SELCUK et al., 2008; GUROL et al., 2012; NORIEGA et al., 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

Deng et al. (2007), relataram que após seis semanas de armazenamento, nenhuma célula viável de *Escherichia coli* foi encontrada em amêndoas expostas por 30 segundos a um plasma gerado por descarga de barreira dielétrica em 30kV e 2000Hz.

Em um estudo sobre a eficácia do processamento por plasma pulsado na qualidade microbiológica em amostras de suco de maçã inoculadas com *Escherichia coli* O157, Montenegro et al. (2002) descreveram uma redução superior a 5 log UFC/mL após 40 segundos de tratamento, sem gerar aumento de temperatura no alimento processado. O

plasma utilizado no estudo foi gerado a partir de descargas de corona, frequência inferior a 100Hz, 4000 pulsos e pico e tensão de 9000V.

Em *Citrobacter freundii*, uma redução superior a 5 log UFC/mL foi descrita por Surowsky et al. (2014) ao expor suco de maçã por 480 segundos ao plasma gerado com gás argônio e 0,1% de oxigênio, 60V e armazenamento subsequente de 24 horas em uma temperatura de 37°C.

Em amostras de suco de laranja fresco inoculadas com *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ou *Candida albicans*, todas as células microbianas foram eliminadas após 10, 12 e 24 segundos de utilização de plasma, respectivamente. Além disso, o alimento permaneceu estéril após 16 dias de armazenamento em temperatura de 4°C e nenhuma modificação nos valores de pH, sólidos solúveis, acidez e vitamina C foi revelada em relação a amostra não processada. O plasma utilizado neste experimento, conduzido por Shi et al. (2011), foi produzido a partir de uma descarga de barreira dielétrica com pico de tensão de 30kV e frequência de 60kHz.

Ao analisar a eficácia do plasma em alimentos líquidos de origem animal, Gurol et al. (2012) inocularam *Escherichia coli* em amostras de leite com diferentes concentrações de gordura (desnatado, semidesnatado, integral). Após utilização de um plasma frio produzido com descarga de corona com pico de tensão de 9kV, foi constatada em todas as amostras uma redução de 54% da carga microbiológica após 3 minutos de processamento, sem haver mudanças nas características de cor e pH.

Um dos fatores que influenciam a eficácia do processamento por plasma é o tipo de alimento a ser tratado. Song et al. (2009) investigaram a influência desse fator. Neste estudo fatias de queijo e presunto foram inoculadas com *Listeria monocytogenes* e expostas a uma descarga de barreira dielétrica (75,100, 125 e 150 W) durante 60, 90 e 120 segundos. A redução microbiana foi mais eficaz com o aumento da potência e tempo de exposição. Os resultados indicaram que, reduções após 120 segundos a 75, 100, 125, 150 W variaram de 1,7 a 8 log UFC/g em fatias de queijo e em fatias de presunto foram 0,25 a 1,73 log UFC/g. Estes resultados confirmaram que o tipo de alimento a ser tratado tem forte efeito na inativação por plasma atmosférico.

Em alimentos de origem vegetal com diferentes superfícies de textura, Wang et al. (2012) avaliaram a eficácia de tratamento do plasma em fatias de cenoura, pepino e pêra contaminados por *Salmonella*. Modificações nas características físico-químicas desses vegetais também foram analisadas. Após quatro segundos de processamento, todas as células patogênicas viáveis em fatias de cenoura foram eliminadas. No entanto, cerca de 10% da

Salmonella em fatias de pêra e pepino ainda foram identificadas, demonstrando que o tipo de superfície do alimento a ser tratado influencia na eficácia do processamento por plasma. Quanto as características físico-químicas de umidade, cor e teor de vitamina C, avaliadas neste estudo, nenhuma diferença significativa foi revelada.

Quanto a utilização do plasma em contaminação fúngica, uma redução significativa de *Aspergillus spp.* e *Penicillium spp.* presentes em superfícies de sementes foi relatada por Selcuk, Ossuz, Basaran (2008) após 15 minutos de tratamento, sem comprometimento na qualidade de germinação. Além do campo microbiológico, efeitos positivos foram identificados por Panjak, Misra e Cullen (2013) na inativação enzimática de peroxidase em tomates utilizando uma descarga de barreira dielétrica por 3 minutos a 50kV. Inativação enzimática de peroxidase e polifenoloxidase também foi alcançada por Surowsky et al. (2013) em um modelo de sistema alimentar.

Um plasma frio induzido por uma descarga de barreira dielétrica foi explorado por Misra et al. (2014) como um mecanismo de melhoramento das características reológicas de massas de farinhas de trigo fortes e moles. Os resultados indicaram que esta tecnologia pode ser explorada como um meio para modular a funcionalidade da farinha de trigo visto que o processamento melhorou a elasticidade e viscosidade das massas.

Entre as limitações que atingem atualmente esta tecnologia emergente em alimentos, são o grau de esterilização que é fortemente influenciado pelo tipo de microrganismo, tempo de aplicação e alimento exposto (RAMOS et al., 2013); impossibilidade de penetração das espécies reativas presentes no plasma, o que restringe a eficácia de esterilização apenas a superfície de alimentos; diferentes tipos de microrganismos requerem intervalos de tempo diferentes para inativação (SONG et al., 2009); infinidade de combinações possíveis para geração do plasma possibilitam uma gama de efeitos diversos na inativação de microrganismos e dificulta a padronização do processo (FERNÁNDEZ; NORIEGA; THOMPSON, 2013); ausência de informações suficientes sobre o efeito do plasma nas características organolépticas, físico-químicas e fitoquímicas dos alimentos processados (BERMUDÉZ-AGUIRRE et al., 2013; AFSHARI; HOSSEINI, 2014).

Tais questões revelam que o uso do plasma frio em alimentos ainda está em fase inicial de desenvolvimento e mais pesquisas são necessárias antes de sua aplicação a nível industrial. No entanto, os resultados apresentados em publicações recentes são encorajadores e provam as diversas vantagens no uso desta tecnologia emergente na área de alimentos.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSHARI, R.; HOSSEINI, H. Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect. **Journal of Paramedical Sciences (JPS)**. v. 5, p.116-120, 2014.

BAIER, M.; FOERSTER, J.; SCHNABEL, U.; KNORR, D.; EHLBERCK, J.; HERPPICH, W. B.; SHLÜTER, O. Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. **Postharvest Biology and Technology**. v. 84, p. 81-87, 2013.

BÁRDOS, L.; BARÁNKOVÁ, H. Cold atmospheric plasma: sources, processes, and applications. **The Solid Films**. v. 518, p. 6705-6713, 2010.

BASARAN, P.; BASARAN-AKGUL; OKSUZ, L. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low-pressure cold plasma (LPCP) treatment. **Food Microbiology**. v. 25, p.626-632, 2008.

BERMUDÉZ-AGUIRRE, D.; WENLINGER, E.; PEDROW, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; GARCIA-PEREZ, M. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. **Food Control**. v. 34, p. 149-157, 2013.

BITTAR, S. A.; PÉRINO-ISSARTIER, S.; DANGLES, O.; CHEMAT, F. An innovative grape juice enriched in polyphenols by microwave-assisted extraction. **Food Chemistry**. v. 141, p. 3268–3272, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994**. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da comissão intersetorial de Bebidas e dá outras providências. Brasília, 1994. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/LEIS/L8918.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da comissão intersetorial de Bebidas e dá outras providências. Brasília, 2009. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988**. Dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências. Brasília, 1988. Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L7678.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 8.198, de 20 de fevereiro de 2014**. Regulamenta a Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências. Brasília, 2014. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8198.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, E.; RODRÍGUEZ, J. A. GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: a review. **Food Chemistry**. v. 113, p.859-871, 2009.

CAVALCANTI, R. N.; SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems-an overview. **Food Research International**. v. 44, p.499-509, 2011.

CHEYNIER, V. Polyphenols in foods are more complex than often thought. **The American Journal of Clinical Nutrition**. v. 81, p.223-229, 2005.

DENG, S.; RUAN, R.; MOK, C. K.; HUANG, G.; LIN, X.; CHEN, P. Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma. **Food Microbiology and Safety**. V. 72, nº2, p.62-66, 2007.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics**. Disponível em <<http://faostat3.fao.org>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

FRACASSETTI, D., LAWRENCE, N.; TREDoux, A. G. J.. TIRELLI, A.; NIEUWoudt, H. H. DU-TOIT, W. J. Quantification of glutathione, catechin and caffeic acid in grape juice and wine by a novel ultra-performance liquid chromatography method. **Food Chemistry**. v. 128, p. 1136-1142, 2011.

FERNÁNDEZ, A.; NORIEGA, E. THOMPSON, A. Inactivation of *Salmonella enterica* *senovar Typhimurium* on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. **Food Microbiology**. v. 33, p. 24-29, 2013.

GREGORZEWSKI, F.; EHLBECK, J.; SCÜTER, O.; KROH, L. W.; ROHN, S. Treating lamb's lettuce with a cold plasma e Influence of atmospheric pressure ar plasma immanent species on the phenolic profile of *Valerianella locusta*. **LWT - Food Science and Technology**. v. 44, p. 2285-2289, 2011.

GURAK, P. D.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. M.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. **Journal of Food Engineering**. v. 96, p. 421-426, 2010.

GUROL, C.; EKINCI, F. Y.; ASIAN, N.; KORACHI, M. Low Temperature Plasma for decontamination of *E. coli* in milk. **International Journal of Food Microbiology**. v. 157, p. 1-5, 2012.

HATI, S.; MANDAL, S.; VIJ, S., MINIZ, P. S.; BASU, S.; KHERTRA, Y.; YADAV, D.; DAHIYA, M. Nonthermal plasma technology and its potential applications against foodborne microorganisms. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 36. p. 518-524. 2012.

HAMINIUK, C. W. I.; MACIEL, G. M.; PLATA-OVIEDO, S. V.; PERALTA, R. M. Phenolic compounds in fruits – an overview. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 47, p. 2023-2044, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)**. Brasília: IBGE. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?z=t&o=26&i=P>>. Acesso em: 30 Mai. 2015.

LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M. **A Viticultura no Semi-Árido Brasileiro**. Petrolina: Ebrapa Semi-Árido, 2000, 366p.

LEWANDOWSKA, U.; SZEWCZYK, K.; HRABEC, E.; JANECKA, A.; GORLACH, S. Overview of metabolism and bioavailability enhancement of polyphenols. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 61. p. 12183-12199, 2013.

LIMA, M. S.; SILANI, I. S. V. TOALDO, I. M.; CORRÊA, L. C.; BIASOTO, A. C. T.; PEREIRA, G. E.; BORDIGNON-LUIZ, M. R. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian varieties planted in the Northeast Region of Brazil. **Food Chemistry**. v. 161, p. 94-103, 2014.

LOANNOU, I.; HAFSA, I.; HAMDI, S.; CHARBONNEL, C.; GHOUL, M. Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behavior. **Journal of Food Engineering**. v.111, p.208-217, 2012.

LORENZI, H. **Frutas Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2ª edição, 2009, 627p.

MACHALA, Z.; JANDA, M.; HENSEL, K.; JEDLOVSKÝ, I.; LEŠTINSKÁ, L.; FOLTIN, V.; MARTIŠOVITŠ; MORVOVÁ, M. Emission spectroscopy of atmospheric pressure plasmas for bio-medical and environmental applications. **Journal of Molecular Spectroscopy**. v. 246, p 194-201, 2007.

MISRA, N.N., MOISEEV, TAMARA; PATIL, S., PANKAJ, S. K.; BOURKE, J. P., KEENER, K. M., CULLEN, P. J. Cold plasma in modified atmospheres for post-harvest treatment of strawberries, **Food Bioprocess Technology**, v.7, p. 3045-3054, 2014.

MONTENEGRO, J; RUAN, R.; MA, H.; CHEN, P. Inactivation of *E. coli* O157:H7 using a pulsed nonthermal plasma system. **Food Engineering and Physical Properties**. v. 67, n.2, p.146-148, 2002.

MUÑOZ, S.; MESTRES, M.; BUSTO, O.; GUASCH, J. Determination of some flavan-3ols and anthocyanins in red grape seed and skin extracts by HPLC-DAD: validation study and response comparison of different standards. **Analytica Chimica Acta**. v. 628, p. 104-110. 2008.

NATIVIDADE, M. M. P., CORRÊA, L. C., SOUZA, S. V. C., PEREIRA, G. E., & LIMA, L. C. O. Simultaneous analysis of 25 phenolic compounds in grape juice for HPLC: Method validation and characterization of São Francisco Valley samples. **Microchemical Journal**. v. 110, p. 665–674, 2013.

NIEMIRA, B. A. Cold Plasma Decontamination of Foods. **Annual Review of Food Science and Technology**. v. 3, p. 125-142, 2012.

NIXDORF, S. L.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Brazilian red wines made from the hybrid grape cultivar Isabel: phenolic composition and antioxidant capacity. **Analytica Chimica Acta**. v. 659, p. 2008-2015, 2010.

NORIEGA, E.; SHAMA, G.; LACA, A.; DÍAZ, M.; KONG, M., G. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. **Food Microbiology**. v. 28, p. 1293-1300, 2011.

PALA, C. U.; TOKLUCU, A. K. Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, p.719-725, 2013.

PANKAJ, S. K. MISRA, N.N. CULLEN, P. J. Kinetics of tomato peroxidase inactivation by atmospheric pressure cold plasma based on dielectric barrier discharge. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 19, p. 153–157, 2013.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; TIWARI, B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 3-11, 2010.

RAMAZZINA, I.; BERARDINELLI, A.; RIZZI, F.; TAPPI, S.; RAGNI, L.; SACCHETTI, G.; ROCCULI, P. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**. v.107, p. 55-65, 2015.

RAMOS, B.; MILLER, F. A.; BRANDÃO, T. R. S. TEIXEIRA, P.; SILVA, C. L. M. Fresh fruits and vegetables – an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 20, p. 1-15, 2013.

RAWSON, A., PATRAS, A., TIWARI, B. K., NOCI, F., KOUTCHMA, T., BRUNTON, N. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances. **Food Research International**. v. 44, p. 1875-1887, 2011.

RAGNI, L.; BERARDINELLI, A.; VANNINI, L.; MONTANARI, C.; SIRRI, F.; GUERZONI, M. E.; GUARNIERI, A. Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. **Journal of Food Engineering**. v. 11, p.125-132, 2010.

ROD, S. K. HANSEN, F.; LEIPOLD, F.; KNOCHEL, S. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. **Food Microbiology**. v. 30, p. 233-238, 2012.

ROMBALDI, C. V.; BERGAMASQUI, M.; LUCCHETTA, L.; ZANUZO, M.; SILVA, J. A. Produtividade e qualidade de uva, Cv. Isabel, em dois sistemas de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 26, n.1, p. 89-91, 2004

SELCUK, M.; OKSUZ, L.; BASARAN, P. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. **Bioresource Technology**. v. 99. p. 5104–5109, 2008.

SCHLIENGER, L.; MONNIER, L.; COLETTE, C. Histoire de l'alimentation méditerranéenne. **Médecine des Maladies Métaboliques**. v. 8, n°4, 2014.

SHI, X.M.; ZHANG GUAN-JUN; WU XI-LI; MA, Y.; SHAO XIAN-JUN. Effect of Low-Temperature Plasma on Microorganism Inactivation and Quality of Freshly Squeezed Orange Juice. **IEE Transactions on Plasma Science**. v. 39.n.7, 1591-1597, 2011.

SHÜLTER, O.; EHLBECK, J.; HERTEL, C.; HABERMEYER, M.; ROTH, A.; ENGEL K. H.; HOLZHAUSER, T.; KNORR, D.; EISENBRAND, G. Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods. **Molecular Nutrition & Food Research**. v. 57, p. 920-927, 2013.

SONG, H.P.; KIM, B.; CHOE, J. H.; JUNG, S.; MOON, S. Y.; CHOE, W.; JO, C. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. **Food Microbiology**. v. 26, p. 432-436, 2009.

SOUZA, E. C.; UCHÔA, A. M. A.; CARIOCA, O. B.; MORAIS, S. M.; LIMA, A.; MARTINS, C. G.; ALEXANDRINO, C. D.; FERREIRA, A. T.; RODRIGUES, A. L. M.; RODRIGUES, S. P.; SILVA, J. N.; RODRIGUES, L. L. Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.), Benitaka variety, grown in the semiarid region of Northeast Brazil. **Food Science and Technology**. v. 34. n. 1. p. 135-142, 2014.

SOUZA, J. S. I. **Uvas para o Brasil**. Piracicaba: FEALQ, 1996, 791 p.

SUROWSKY, B.; FISCHER, A.; SCHLÜTER, O.; KNORR, D. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 19, p. 146-152, 2013.

SUROWSKY, B.; FRÖHLING, GOTTSCHALK, N.; SCHLÜTER, O.; KNORR, D. Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: inactivation kinetics and mechanisms. **International Journal of Food Microbiology**. v. 174, p. 63-71, 2014.

TAPPI, S.; BERARDINELLI, A.; RAGNI, L.; ROSA, M. D.; GUARNIERI, A.; ROCCULI, P. Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples. **Innovate Food Science and Emerging Technologies**. v. 21, p. 114-122, 2014.

TAVARES, S. C. C. H.; LIMA, V. C. **A indicação geográfica da uva de São Vicente Férrer e Macaparana – PE a partir das pesquisas da Embrapa**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Circular Técnica, nº43, 2009.

THIS, P.; LACOMBE, T.; THOMAS, M. R. Historical origins and genetic diversity of wine grapes. **Trends in Genetics**. v. 22, n.9, p.511-519, 2006.

TIWARI, B. R., PATRAS, A., BRUNTON, N., CULLEN, P. J., O'DONNELL, C. P. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 17, p. 598-604, 2010.

USDA – United States Department of Agriculture. **National Nutrient Database for**

Standad Reference. Release 27. Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>>. Acesso em 21 jul. 2015.

WANG, R. X.; NIAN, W. F.; WU, H. Y.; FENG, H. Q.; ZHANG, K.; ZHANG, J.; ZHU, W. D. Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physicochemical properties evaluation. **The European Physical Journal D.** v. 66, n° 276, p. 1-7, 2012.

XIA, EM-QIN; GENG, GUI-FANG; GUO, YA-JUN; LI, HUA-BIN. Biological activities of polyphenols from grapes. **International Journal of Molecular Sciences.** v.11, p. 622-646, 2010.

ZECCA, G.; ABBORR, J. R.; SUN, WEI-BANG; SPADA, A.; SALA, F. GRASSI, F. The timing and the mode of evolution of wild grapes (*Vitis*). **Molecular Phylogenetics and Evolution.** v. 62, p. 736-747, 2012.

ZIUZINA, D. PAITI, P.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. M.; BOURKE, P. Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica serovar typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. **Food Microbiology.** v. 42, p. 109-116, 2014.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Artigo I

Efeitos do Processamento por Plasma Atmosférico sobre as Características de Qualidade em Suco de Uva

RESUMO

Estudos recentes tem reconhecido a eficácia da utilização do plasma atmosférico na qualidade microbiológica. Entretanto, pouca atenção tem sido dada no impacto desta tecnologia emergente nas características de qualidade do alimento processado, principalmente aqueles em estado líquido e de origem vegetal. Nesta perspectiva, o presente estudo visa investigar os efeitos do processamento por plasma atmosférico sobre as características de qualidade físico-químicas e microbiológicas em suco de uva. Para tanto, suco de uva fresco da cultivar “Isabel” foi exposto por 0 (controle), 1, 2, 4, 6 minutos a um jato de plasma à pressão atmosférica. O plasma foi gerado em gás hélio, mediante a aplicação de uma descarga de barreira dielétrica (DBD) a uma voltagem de 90kV, frequência de 10KHz e um fluxo de gás de 2l/min. As características físico-químicas (pH, sólidos solúveis, acidez titulável, cor, açúcares redutores) e microbiológicas (*Escherichia coli*, Coliformes, mesófilos aeróbios, leveduras e bolores) foram confrontadas antes e após o processamento. Os resultados demonstram que, dentro das condições experimentais utilizadas, o processamento por plasma atmosférico preservou as mesmas características físico-químicas do suco de uva fresco. Em relação a qualidade microbiológica, nenhuma unidade formadora de colônia de mesófilos aeróbios, bolores e leveduras foi observada a partir de dois minutos de tratamento. Entretanto, apesar dos resultados encorajadores, novas pesquisas são necessárias visando investigar o comportamento do alimento processado ao longo da sua vida útil.

Palavras-chave: Plasma-frio. *Vitis* sp. Sumo.

Effects of Processing Atmospheric Plasma on the Quality Characteristics of Grape Juice

ABSTRACT

Recent studies have recognized the effectiveness of using atmospheric plasma in the microbiological quality. However, little attention has been given to the impact of this emerging technology in the quality characteristics of processed food, especially those in liquid and plant. In this perspective, the present study aims to investigate the effects of processing by atmospheric plasma on the physical and chemical quality features full grape juice. To this end, fresh grape juice cultivar "Isabel" was exposed for 0 (control), 1, 2, 4, 6 minutes to a cold atmospheric plasma jet, generated in helium gas by applying a dielectric barrier discharge (DBD) to a voltage 90kV, frequency of 10KHz and a gas flow of 2l/min. The physico-chemical characteristics (pH, soluble solids, titratable acidity, color, reducing sugars) and microbiological (Escherichia coli, coliforms, mesophilic aerobic, yeasts and molds) were compared before and after processing. The results show that within the experimental conditions employed, the atmospheric plasma processing preserved by the same physico-chemical characteristics of fresh grapefruit juice. Regarding the microbiological quality, no colony forming unit for mesophilic aerobic, molds and yeasts was observed from two minutes of treatment. However, despite the encouraging results, further research is needed in order to investigate the behavior of processed food throughout its shelf life and also the treatment promotes danger to human health.

Keywords: Cold-plasma. *Vitis* sp. Juice.

1. INTRODUÇÃO

Processamentos térmicos são os métodos de tratamento mais utilizados na conservação de alimentos (SHI et al., 2011). No entanto, apesar de garantir a segurança alimentar do ponto de vista biológico, podem afetar de maneira indesejável as características sensoriais, nutricionais e funcionais do alimento processado (TIWARI et al., 2010, RAWSON et al., 2011; SHI et al., 2011).

Na tentativa de esterilizar produtos termosensíveis, conservando ao máximo as características do alimento fresco, novas tecnologias de processamento não térmicas estão sendo desenvolvidas (RAWSON et al., 2011; PALA; TOKLUCU, 2013; KOVAČEVIĆ, et al., 2016). Entre os novos métodos de processamento, como alta pressão, ultrassom, campos magnéticos, radiação, campos elétricos pulsados, ultravioleta, o plasma atmosférico surge como uma das tecnologias mais atuais e promissoras (HATI et al., 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014; KOVAČEVIĆ, et al., 2016).

O plasma, também conhecido como o quarto estado da matéria, é composto de moléculas de gás que por uma indução de energia, dissociam-se em fótons, elétrons, íons positivos e negativos, átomos, moléculas e radicais livres excitados e não excitados que, em combinação, possuem a capacidade de inativar microrganismos (BÁRDOS; BARÁNKOVÁ, 2010; GREGORZEWSKI et al., 2011; SHLÜTER et al., 2013; SUROWSKY et al., 2013; RAMOS; BRANDÃO; SILVA, 2013; TAPPI et al., 2014).

Estudos recentes apontam a eficácia do tratamento por plasma na qualidade microbiológica em leites com diferentes concentrações de gordura (GUROL et al.; 2012), ovos (RAGNI et al., 2010); vegetais (BERMÚDEZ-AGUIRRE et al., 2013; ZIUZINA et al., 2014), grãos e cereais (SELCUK et al., 2008), suco (SHI et al., 2011; SUROWSKY et al., 2013), frutas minimamente processadas (FERNÁNDEZ; NORIEGA; THOMPSON, 2013; BAIER et al., 2013; RAMAZZINA et al., 2015 e embaladas (MISRA et al., 2014), oleaginosas (BASARAN et al., 2008). No entanto, pouca atenção tem sido dada sobre o impacto desta tecnologia nas características de qualidade do alimento processado, principalmente em estado líquido e de origem vegetal.

Neste sentido, em virtude de suco de uva ser uma das bebidas mais apreciadas e consumidas no mundo e possuir características de qualidade pós processamento previstas em legislação brasileira, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do processamento por plasma atmosférico nas características de qualidade relacionadas aos aspectos físico-químicos e microbiológicos em suco de uva integral.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Elaboração do suco de uva

Uvas da cultivar “Isabel”, oriundas da cidade de Macaparana, Pernambuco, foram obtidas em comércio atacadista localizado em Mossoró, no Rio Grande do Norte (Figura 1).

Figura 1 - Uvas da cultivar Isabel adquiridas em Mossoró-RN para extração do suco



Após aquisição, as uvas foram submetidas as etapas de lavagem em água corrente, despreendimento manual das bagas e seleção conforme a Instrução normativa nº 1, de 1º de fevereiro de 2002, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Por fim, foi realizada uma segunda lavagem em água corrente. Após este processo, cerca de 4 litros de suco foram extraídos a partir de 16kg de uva “Isabel” com auxílio de uma centrífuga doméstica (Britânia 100, Brasil). Posteriormente, o suco integral foi acondicionado em recipientes esterilizados de vidro com coloração âmbar (100mL) e armazenados em temperatura de -22°C até o início do tratamento por plasma atmosférico (~24h).

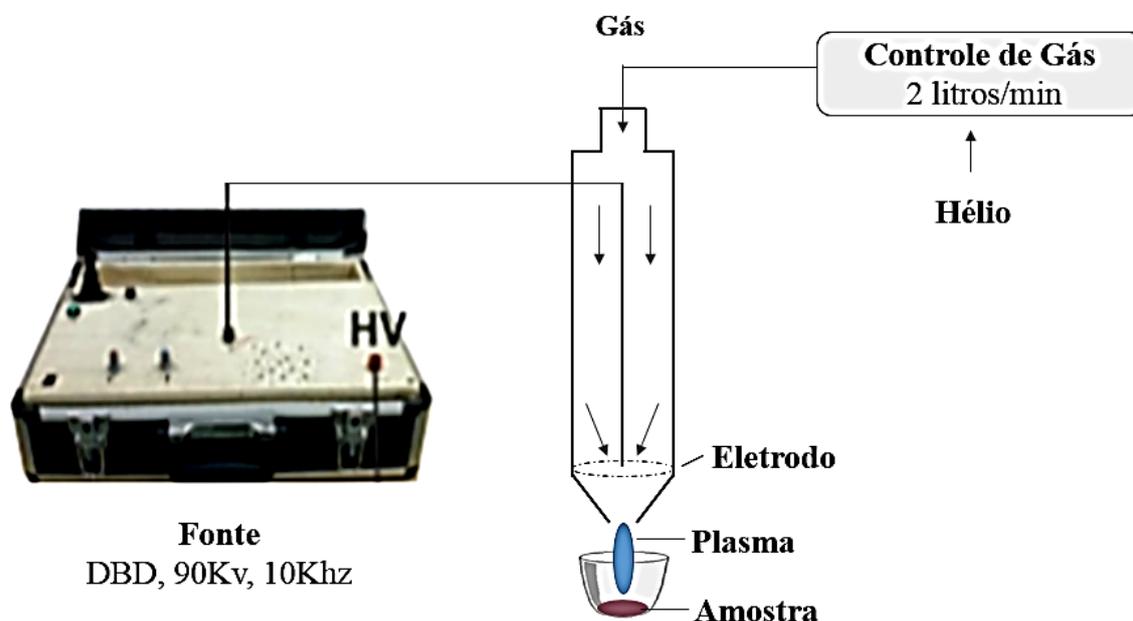
2.2 Tratamento por Plasma Atmosférico

O suco de uva foi submetido ao processamento por plasma atmosférico no Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma (LABPLASMA) do Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido (CITED) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), através de um protótipo experimental construído pela equipe de pesquisadores do LABPLASMA (Figura 2).

O jato de plasma à pressão atmosférica foi gerado em gás hélio puro (99% pureza),

mediante a aplicação de uma descarga de barreira dielétrica (DBD) a uma voltagem de 90kV, frequência de 10KHz e um fluxo de gás de 2litros/min.

Figura 2 - Protótipo experimental construído pela equipe de pesquisadores da UFERSA para geração de plasma atmosférico

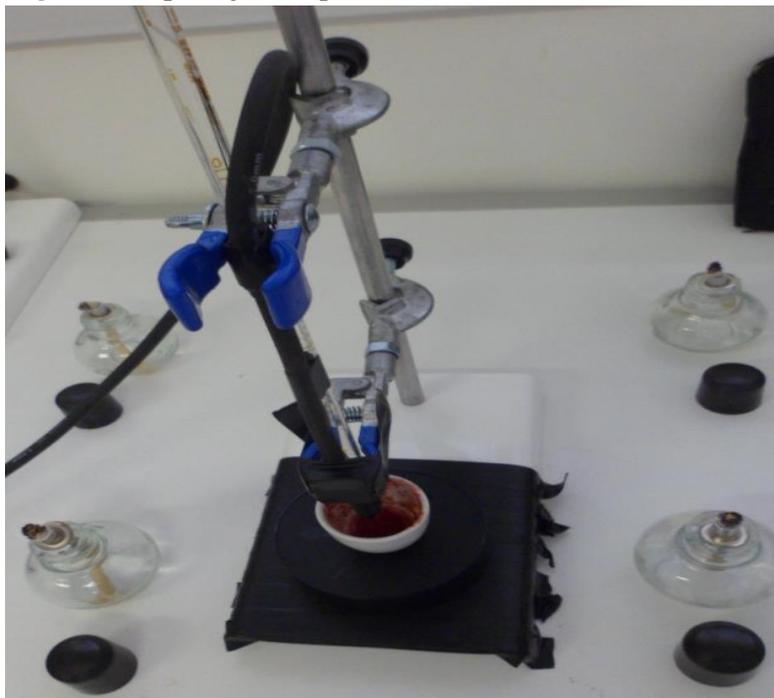


Uma alíquota de 2mL da amostra foi transferida com o auxílio de um pipetador automático para um recipiente de porcelana, posicionado diretamente sob o fluxo de saída do jato de plasma (Figura 3). A distância entre a amostra e a ponta do bocal do plasma foi fixado em 10mm e os tempos de tratamento aplicados foram determinados em 0 (controle), 1, 2, 4, 6 minutos.

Ao longo do processamento, a amostra controle bem como a submetida ao plasma, permaneceram armazenadas em um recipiente de poliestireno com água e gelo. Ao final desta etapa, a amostra processada foi armazenada a aproximadamente -22°C .

Foram realizados 05 ensaios de 100mL para cada tempo de tratamento aplicado, totalizando 20 ensaios. Ao final do tratamento, dois litros de suco de uva foram submetidos ao plasma atmosférico. As amostras congeladas foram transportadas de Mossoró - RN até Recife - PE (512km), submersas em gelo em uma caixa de poliestireno por aproximadamente sete horas. Após este período, foram armazenadas em -22°C até o momento das análises.

Figura 3 -Aplicação do plasma atmosférico no suco de uva



2.3 Análises físico-químicas

2.3.1 pH

O pH foi determinado utilizando um potenciômetro digital com membrana de vidro (Tecnal TEC-3MP), previamente calibrado com soluções tampão em pH 4,0 e 7,0, conforme metodologia descrita pela AOAC (2010).

2.3.2 Sólidos solúveis

A determinação foi realizada com auxílio de um refratômetro de bancada (Reichert R²). Os resultados foram expressos em °Brix.

2.3.3 Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada através da titulação potenciométrica da amostra com solução de hidróxido de sódio 0,1N até o pH 8,2, conforme metodologia descrita pela AOAC (2010). Os resultados foram expressos em g/100mL em ácido tartárico.

2.3.4 Determinação da cor

A quantificação de diferença de cor entre as amostras do suco de uva pré e pós processamento foi mensurada utilizando um Colorímetro Minolta (CR-400, Konica Minolta, Sensing Inc.) operando em sistema CIELab ($L^*a^*b^*$). A partir dos parâmetros L^* , a^* e b^* foi calculada a diferença média da cor, segundo a equação matemática:

$$\Delta E = \sqrt{((L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2)}$$

Onde:

ΔE^* é a diferença total de cor;

L_0^* e L^* são as luminosidades das amostras do suco de uva pré e pós processamento por plasma atmosférico, respectivamente;

a_0^* e a^* são as intensidades da cor vermelha ou verde das amostras de suco de uva pré e pós processamento por plasma atmosférico, respectivamente;

b^* e b_0^* são as intensidades da cor amarela ou azul das amostras de suco de uva pré e pós processamento por plasma atmosférico, respectivamente.

2.3.5 Açúcares redutores

Determinados pelo método volumétrico de Lane-Eynon descrito pela AOAC (2010) e expressos em % glicídios redutores em glicose.

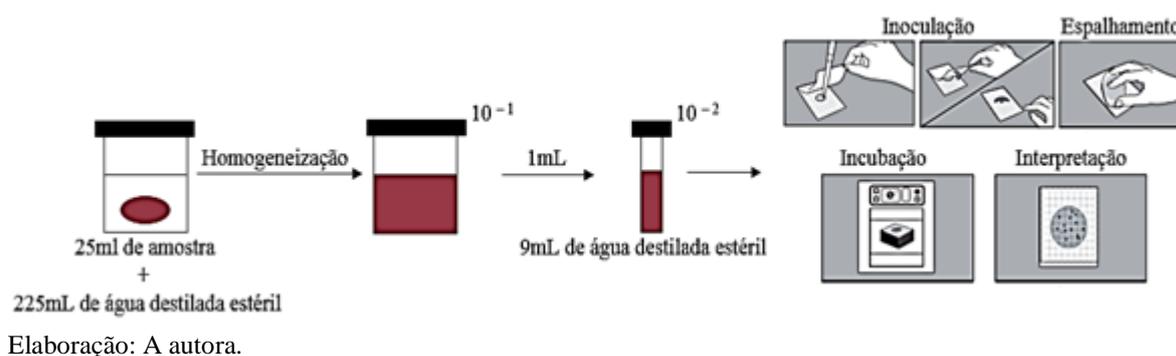
2.4 Análises Microbiológicas

As amostras foram analisadas quanto à contagem de coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli*, aeróbios totais, bolores e leveduras. As análises microbiológicas citadas foram realizadas no Laboratório de Alimentos do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco utilizando o sistema Petrifilm (3M Company).

2.4.1 Preparação da amostra

Para cada amostra de suco de uva, diluições sucessíveis até 10^{-2} foram preparadas, conforme demonstra a Figura 4. Em um recipiente contendo 225mL de água destilada estéril foi adicionado 25mL da amostra, seguindo-se de agitação manual por um minuto (diluição 10^{-1}). Em seguida, uma alíquota de 1mL foi retirada da diluição 10^{-1} e adicionada em um tubo de ensaio contendo 9mL de água destilada estéril (diluição 10^{-2}). Após agitação, a amostra foi inoculada nas placas e incubadas para posterior análise dos resultados.

Figura 4 – Esquema geral de preparação das amostras para análise microbiológica



2.4.2 Mesófilos aeróbios

Alíquotas de 1,0 mL das amostras diluídas a 10^{-2} foram transferidas, em triplicata, ao centro de placas Petrifilm™ AC (3M). Após homogeneização, com auxílio de um disco difusor, as placas foram incubadas a 48 horas \pm 3h a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, conforme metodologia descrita pelo Método Oficial AOAC 990.12 (2010). Posteriormente ao período de incubação, foram realizadas as contagens das colônias.

2.4.3 *Escherichia Coli*

Alíquotas de 1,0 mL das amostras diluídas a 10^{-2} foram transferidas, em triplicata, ao centro de placas Petrifilm™ EC (3M). Após homogeneização, com auxílio de um disco difusor, as placas foram incubadas a 48h \pm 2h a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, conforme metodologia descrita pelo Método Oficial AOAC 991.14 (2010). Posteriormente ao período de incubação, foram realizadas as contagens das colônias.

2.4.4 Coliformes totais

Alíquotas de 1,0 mL das amostras diluídas a 10^{-2} foram transferidas, em triplicata, ao centro de placas Petrifilm™ EC (3M). Após homogeneização, com auxílio de um disco difusor, as placas foram incubadas a $24\text{h} \pm 2\text{h}$ a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, conforme metodologia descrita pelo Método Oficial AOAC 991.14 (2010). Posteriormente ao período de incubação, foram realizadas as contagens das colônias.

2.4.5 Coliformes termotolerantes

Alíquotas de 1,0 mL das amostras diluídas a 10^{-2} foram transferidas, em triplicata, ao centro de placas Petrifilm™ EC (3M). Após homogeneização, com auxílio de um disco difusor, as placas foram incubadas a $24\text{h} \pm 2\text{h}$ a $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, conforme metodologia descrita pelo Método Oficial AOAC 991.14 (2010). Posteriormente ao período de incubação, foram realizadas as contagens das colônias.

2.4.6 Bolores e Leveduras

Alíquotas de 1,0 mL das amostras diluídas a 10^{-2} foram transferidas, em triplicata, ao centro de placas Petrifilm™ YM (3M). Após homogeneização, com auxílio de um disco difusor, as placas foram incubadas por 120 horas $\pm 2\text{h}$ a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, conforme metodologia descrita pelo Método Oficial AOAC 997.02 (2010). Posteriormente ao período de incubação, foram realizadas as contagens das colônias.

2.5 Tratamento estatístico

Todas as experimentações foram realizadas em triplicata. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias deu-se por meio do teste de Tukey ao nível de 1% de significância, utilizando-se o software *Statistica* 6.0. Os dados apresentados nas Tabelas representam os valores médios \pm o desvio padrão ($n = 3$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a legislação brasileira, (BRASIL, 2009), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o suco integral de uva é obtido do fruto da videira através de processos tecnológicos adequados não fermentados, sem adição de açúcares e na sua concentração natural. É constituído de uma grande quantidade de água (81-86%), com uma alta concentração de açúcares, como a glicose e frutose, e apresenta uma elevada acidez devido à presença de ácidos tartárico, málico e cítrico, o que confere ao suco de uva um baixo pH e o equilíbrio entre o sabor doce e ácido (GURAK et al., 2010).

As características físico-químicas apresentadas pelo suco de uva antes e após o processamento por plasma atmosférico encontram-se expostas na Tabela 1. Devido à ausência de publicações utilizando plasma frio em suco de uva, os resultados obtidos foram comparados a estudos com sumo de *Vitis sp.* submetido a outros tipos de tecnologias não térmicas, como ultrassom, ultravioleta, ozonização, entre outras. Os resultados também foram confrontados aos achados reportados por alguns estudos que avaliaram a eficácia do processamento por plasma nas características de qualidade em diferentes tipos de alimentos de origem vegetal e animal.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de suco de uva integral em 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV

Tempo de Tratamento (min)	Variáveis			
	pH	Sólidos solúveis*	Acidez titulável**	Açúcares redutores***
0	3,17 ± 0,00	16,0 ± 0,01	0,6 ± 0,00	12,2 ± 0,03
1	3,17 ± 0,01	16,1 ± 0,00	0,6 ± 0,01	12,1 ± 0,01
2	3,16 ± 0,02	16,3 ± 0,03	0,6 ± 0,00	12,3 ± 0,04
4	3,16 ± 0,01	16,1 ± 0,05	0,6 ± 0,02	12,3 ± 0,02
6	3,18 ± 0,03	16,2 ± 0,02	0,6 ± 0,01	12,2 ± 0,00

Os resultados foram expressos em média ± D.P. Valores em colunas não diferem significativamente ($P < 0,01$) pelo Teste de Tukey.

*Sólidos solúveis: °Brix. **Acidez titulável: g/100mL em ácido tartárico. *** Açúcares redutores: % glicídios redutores em glicose.

3.1. pH

Nenhuma influência foi verificada entre os valores de pH das amostras de suco de uva integral antes e após o tratamento por plasma atmosférico gerado a 90kV e 10KHz em

gás hélio. Shi et al. (2011) estudando o efeito do plasma frio na inativação microbiana e características de qualidade em suco de laranja verificaram que o tratamento gerado a partir de uma barreira dielétrica com pico de tensão máxima de 30kV e frequência de 60 kHz não provocou mudanças significativas no comportamento do pH em relação a amostra controle. Influências neste parâmetro também não foram constatadas por Gurol et al., (2012) ao avaliarem amostras de leite com diferentes concentrações de gordura submetidas a um jato de plasma a pressão atmosférica com descargas de corona de 9kV em intervalos de tempo de 0 a 20 minutos. Os resultados sugerem que o processamento por plasma frio, dentro dos padrões metodológicos adotados pelos estudos, consegue manter as características de pH do alimento original.

Os valores encontrados neste estudo (pH 3,17) encontram-se próximos aos reportados por Fontanet et al. (2013) em amostras de suco de uva produzidas a partir da variedade “Carignan” pertencente a espécie *Vitis vinífera* (pH 3,20) e por Toaldo et al. (2015) em suco de uva produzido com duas variedades da espécie *Vitis labrusca*, “Bordo” e “Isabel”, oriundas da região sul do Brasil (pH 3,15).

3.2 Sólidos solúveis

O suco de uva apresentou uma concentração de sólidos solúveis de 16°Brix, valor este dentro dos parâmetros exigidos pela legislação brasileira vigente na qual é preconizado níveis a partir de 14°Brix (BRASIL, 2009). Valor idêntico ao reportado neste estudo foi identificado por Toaldo et al. (2015) em suco de uva produzido a partir da espécie *Vitis labrusca* cultivado em sistema de cultivo convencional na região sul do Brasil.

Após ser submetido ao processamento por plasma frio, a concentração de sólidos solúveis não sofreu influência, demonstrando que o tratamento por esta tecnologia não térmica, dentro dos critérios estipulados nesta pesquisa, conseguiu preservar as características originais de sólidos solúveis do produto fresco.

Estudo conduzido por Shi et al. (2011) revelou que o tratamento por plasma frio (30kV e 60kHz) não gerou diferença significativa sobre o valor de sólidos solúveis em suco de laranja após 20 segundos de tratamento. Em kiwis minimamente processados, Ramazzina et al. (2015) não revelaram alterações significativas nos valores de sólidos solúveis do vegetal após 20 minutos de tratamento com plasma frio gerado por uma descarga de barreira dielétrica de 19V em gás nitrogênio.

Fontanet et al. (2013) comparando os efeitos nas características físico-químicas em

sucos de uva originados pelo processamento térmico (pasteurização) e à frio (ultravioleta) constataram que a utilização de calor ampliou em 0,5° os valores médios de sólidos solúveis.

3.3 Acidez titulável

Os principais ácidos encontrados em suco de uva são o tartárico, málico e o cítrico, respectivamente (GURAK et al., 2010). Neste estudo, as características de acidez não foram influenciadas após o processamento. Efeito semelhante foi relatado por Shi et al. (2011) em suco de laranja processado por plasma atmosférico gerado a partir de 30kV e 60kHz e por Ramazzina et al. (2015) em kiwis minimamente processados (descarga de barreira dielétrica de 15kV em gás nitrogênio).

Diferentemente dos efeitos obtidos com o plasma em teores de acidez, Lieu e Le (2010) ao avaliarem o impacto do ultrassom nas características físico-químicas de suco de uva verificaram uma ampliação nos valores de acidez em 13,6% em comparação a amostra controle, sugerindo que, dentro dos procedimentos experimentais realizados em ambos os estudos, a tecnologia emergente de plasma frio mostrou-se mais eficaz na preservação das características de acidez em suco de uva.

O valor de acidez apresentado neste estudo, 0,6 g/100 mL em ácido tartárico, encontra-se em concordância com os parâmetros estabelecidos na Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, regida pelo Decreto nº 8.198, de 20 de fevereiro de 2014 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em que é exigido um teor de, no máximo, 0,95g/100 mL de ácido tartárico em suco de uva.

Valores próximos ao reportado neste estudo foram encontrados em estudos conduzidos por Toaldo et al. (2015) em suco de uvas vermelhas produzido a partir da espécie *Vitis labrusca* da variedade “Isabel” e “Bordo” cultivadas em sistema convencional (0,66g/100 mL de ácido tartárico) e orgânico (0,59g/100 mL em ácido tartárico) e por Tiwari et al. (2010) com sumo de uvas rubras frescas extraído do gênero *Vitis vinífera* (0,66 g/100 mL em ácido tartárico).

3.4 Açúcares redutores

Nenhuma diferença significativa nos valores de açúcares redutores foi observada entre as amostras, sendo observado um quantitativo de 12,2% em todas as fases de tratamento. Resultados similares foram descritos por Dani et al. (2007) em sucos de uvas

rústicas produzidos a partir das variedades “Bordô” (12,93%) e “Niágara” (12,68%) cultivadas em sistema convencional na região sul do Brasil.

Em contraste ao processamento por plasma, o teor de açúcares redutores em suco de uva foi modificado pelo processamento por ultrassom, havendo um incremento de 12,0% em seu conteúdo (LIEU, LE, 2010).

3.5 Cor

A cor é uma característica importante de aceitabilidade em suco de uva, visto que é o primeiro indicador de qualidade observada pelo consumidor. A cor do produto pode variar de acordo com a variedade, origem e região em que as uvas foram colhidas, bem como pelo tipo de tecnologia aplicada na produção do suco (TIWARI et al., 2010; RAWSON et al., 2011).

Na Tabela 2 encontra-se representado o comportamento colorimétrico em suco de uva antes e após o processamento por plasma atmosférico.

Tabela 2 – Parâmetros colorimétricos de suco de uva integral em 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV

Tempo de tratamento (min)	Variáveis			
	L*	a*	b*	ΔE
0	47,68 ± 0,24	8,20 ± 0,18	12,18 ± 0,55	
1	47,52 ± 0,48	8,18 ± 0,23	12,50 ± 0,40	0,34
2	47,62 ± 0,25	8,29 ± 0,27	12,64 ± 0,13	0,51
4	47,23 ± 0,08	8,42 ± 0,02	12,78 ± 0,11	0,77
6	47,63 ± 0,00	8,64 ± 0,04	12,91 ± 0,03	0,80

Os resultados foram expressos em média ± D.P. Valores em colunas não diferem significativamente (P < 0,01) pelo Teste de Tukey.

L*: luminosidade, variação do mais escuro (0) para o mais claro (100); a*: variação de cores de verde (-a) para o vermelho (+a); b*: variação do azul (-b) para o amarelo (+b) ΔE: diferença total de cor calculada entre o controle e os demais tratamentos.

Em relação ao parâmetro colorimétrico, nenhuma diferença significativa foi revelada entre o ensaio padrão e o suco de uva processado por plasma atmosférico após 0,1,2,4,6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV para os parâmetros L*, a*, b*. A diferença total de cor (ΔE) calculada entre a amostra controle e os demais tratamentos variou

de 0,34 (1 minuto) a 0,80 (6 minutos), sugerindo que a aplicação de plasma resultou em nenhuma diferença visível de cor entre o ensaio controle e as amostras processadas.

Um perfil semelhante em relação à cor foi verificado por Kim; Lee e Min (2014) ao compararem a eficácia do tratamento térmico em relação ao plasma frio na inibição de microrganismos em pimenta vermelha em pó. Os resultados demonstram que o tratamento térmico (90°C por 30 min) provocou uma diferença significativa na cor da pimenta em pó, mas o processamento por plasma frio (gás nitrogênio a 900W e 667 Pa por 20 minutos e mistura de gás hélio com oxigênio a 900W e 667 Pa por 20 minutos) conseguiu garantir a qualidade biológica sem influenciar a cor do produto.

Guroi et al. (2012), também, não observaram alterações significativas no parâmetro colorimétrico em amostras de leite com diferentes concentrações de gordura após 0,3,6,9,12 e 15 minutos de tratamento por plasma gerado a uma potência de 9kV. Em seus resultados, apenas uma ligeira alteração em comparação com o leite cru foi observada após 20 minutos de processamento.

Bermúdez-Aguirre et al. (2013) não identificaram mudanças na coloração de amostras de tomate, alface e cenoura após 10 minutos de tratamento por plasma frio (60Hz em argônio). Resultados semelhantes foram observados por Niemira & Sites (2008) ao utilizarem o plasma frio na inativação de *Salmonella Stanley* e *Escherichia coli* O157: H7 inoculadas em superfície de maçã. Após dois minutos de tratamento nenhuma alteração foi detectada na cor e em outras propriedades sensoriais do fruto, como aroma e textura após exposição em plasma gerado em ar filtrado ionizado por descargas de arco com frequência elétrica de 60Hz e tensão de 15kV. Utilização de quinze minutos de plasma frio, produzido a partir de gases de ar e hexafluoreto de enxofre, também mostrou-se eficaz na conservação da cor de frutos oleaginosos, amendoim, avelã e pistache, contaminados por aflotoxinas (BASARAN; BASARAN-AKGUL; OKSUZ, 2008).

Contrariamente aos achados reportados, efeitos significativos foram observados por Lacombe et al. (2015) na cor de mirtilo após 120 segundos de tratamento com plasma não térmico (549V e 47kHz) para os valores de L* e a* e 45 segundos para o b*. Os autores sugerem que o tratamento pode ter ocasionado um impacto negativo na estrutura da cera que recobre o fruto bem como no teor de antocianinas gerando, conseqüentemente, uma aparência mais escura e azul na superfície do mirtilo.

Em estudo realizado por Rød et al. (2012) com carnes prontas para consumo pré-embaladas e inoculadas com *Listeria innocua*, uma perda expressiva da cor vermelha (40%) foi observada no produto após o tratamento de 5 a 60 segundos com plasma gerado em

argônio (70%) e oxigênio (30%) a 15,5W e 62W, sendo mais evidente após 14 dias de armazenagem. Entretanto, valores de L* e b* não demonstraram mudanças significativas. Os resultados sugerem uma possível reação química entre os pigmentos vermelhos da carne com as espécies reativas geradas pelo plasma.

Estudos conduzidos com sucos de frutas adotando outras tecnologias não térmicas demonstram alterações na cor. Tiwari et al. (2009) verificaram que a cor do suco de uva foi significativamente afetada pelo processo de ozonização, havendo uma ampliação na luminosidade devido ao aumento na tonalidade vermelha do suco. Em relação ao processamento por ultrassom, uma diferença significativa foi encontrada em todos os períodos e níveis de tratamento em sucos de uva (TIWARI et al., 2010; LIEU, LE, 2010) e em sucos de laranja (TIWARI, O'DONNELL; CULLEN, 2009) em comparação a amostra controle.

3.6 Análises microbiológicas

Não foram observados desenvolvimento de Coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* nos ensaios analisados. Microrganismos mesófilos aeróbios, bolores e leveduras foram identificados na amostra controle, entretanto, após dois minutos de processamento por plasma atmosférico, não se confirmou a presença destes microrganismos (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros microbiológicos de suco de uva integral em 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV

Tempo de tratamento (min)	Variáveis					
	<i>Escherichia Coli</i> *	Coliformes 35°C *	Coliformes 45°C *	Mesófilos aeróbios *	Bolores *	Leveduras *
0	<10	<10	<10	20	10	50
1	<10	<10	<10	10	<10	20
2	<10	<10	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6	<10	<10	<10	<10	<10	<10

*UFC/mL – Unidades Formadoras de Colônias por mililitro.

Resultados expressos como <10 representa ausência de colônias, considerando o limite do método.

Eficácia em relação à qualidade microbiológica também foi relatada por Shi et al. (2011) após submeterem ensaios de suco de laranja fresco inoculados com *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ou *Candida albicans* por 10, 12 e 24 segundos de tratamento por plasma não térmico, respectivamente, gerado em descarga de barreira dielétrica com pico de tensão de 30kV e frequência de 60kHz. Além disso, as amostras processadas permaneceram estéreis após 16 dias de armazenamento em temperatura de 4°C, sem comprometimento das características físico-químicas (pH, sólidos solúveis, acidez e vitamina C).

Em suco de maçã, Montenegro et al. (2002) descreveram uma redução de 7 log UFC/mL de *Escherichia coli* O157: H7, em relação a amostra controle, utilizando um sistema de plasma pulsado produzido a partir de descargas de corona com uma frequência inferior a 100Hz e 4000 pulsos de 9000V. Eficácia em sumo de maçã também foi constatada por Suwosky et al. (2014) ao reduzir 5 log UFC/mL em bebida inoculada com *Citrobacter freujii* após 480 segundos de tratamento por plasma frio gerado em gás argônio e 0,1% de oxigênio, 60V e armazenamento subsequente de 24 horas em uma temperatura de 37°C.

Em amostras de leite inoculadas com *Escherichia coli* e apresentando diferentes concentrações de gordura, Gurol et al. (2012) constataram uma redução de 54% na carga microbiológica inicial após três minutos de tratamento por plasma não térmico produzido com descarga de corona com pico de tensão de 9kV, sem haver mudanças nas características de cor e pH do alimento.

Pesquisas sugerem que o mecanismo de ação do quarto estado da matéria em microrganismos deriva principalmente de interações entre as espécies reativas do plasma (fótons, elétrons, íons positivos e negativos, átomos, moléculas e radicais livres excitados e não excitados) e a estrutura da célula microbiana. Essa interação pode ocasionar o

ressecamento ou ruptura da membrana celular como também a quebra das cadeias de DNA, o que dificultaria a replicação celular e, conseqüentemente, originaria a inativação de microrganismos (NIEMIRA, 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014). Contudo, essas hipóteses ainda não estão totalmente elucidadas pela literatura.

4. CONCLUSÃO

O processamento do suco de uva integral por plasma atmosférico, gerado por gás hélio a 90kV e 10KHz pelo período de 1, 2, 4, 6 minutos, preservou as mesmas características de qualidade físico-químicas do suco de uva fresco. Quanto à qualidade microbiológica, microrganismos mesófilos aeróbios, bolores e leveduras presentes na amostra não tratada foram inativados após dois minutos de processamento. Estes achados são bastante encorajadores e demonstram um grande potencial para o uso de plasma não térmico como uma técnica de conservação em suco de uva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18. ed., Washington, 2010.

AFSHARI, R.; HOSSEINI, H. Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect. **Journal of Paramedical Sciences (JPS)**. v. 5, p.116-120, 2014.

BAIER, M.; FOERSTER, J.; SCHNABEL, U.; KNORR, D.; EHLBERCK, J.; HERPPICH, W. B.; SHLÜTER, O. Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. **Postharvest Biology and Technology**. v. 84, p. 81-87, 2013.

BÁRDOS, L.; BARÁNKOVÁ, H. Cold atmospheric plasma: sources, processes, and applications. **The Solid Films**. v. 518, p. 6705-6713, 2010.

BASARAN, P.; BASARAN-AKGUL; OKSUZ, L. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface whit low pressure cold plasma (LPCP) treatment. **Food Microbiology**. v. 25, p.626-632, 2008.

BERMUDÉZ-AGUIRRE, D.; WEMLINGER, E.; PEDROW, P.; BARBOSA-CÁNOVAS,

G.; GARCIA-PEREZ, M. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. **Food Control**. v. 34, p. 149-157, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da comissão intersetorial de Bebidas e dá outras providências. Brasília, 2009. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988**. Dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências. Brasília, 1988. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L7678.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 8.198, de 20 de fevereiro de 2014**. Regulamenta a Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências. Brasília, 2014. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8198.htm>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 1, de 01 de fevereiro de 2002**. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e de Qualidade para a classificação dos produtos a seguir discriminados: Abacaxi; Uva Fina de Mesa; Uva Rústica. Brasília, 2002. Disponível em: < <http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/INM00000001.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2014.

DANI, C.; OLIBONI, L. S.; VANDERLINDE, R; BONATTO, D.; SALVADOR, M.; HENRIQUES, J. A. P. Phenolic content and antioxidant activities of white and purple juices manufactured with organically-or conventionally-produced grapes. **Food and Chemical Toxicology**. v. 45, p. 2574-2580, 2007.

FERNÁNDEZ, A.; NORIEGA, E. THOMPSON, A. Inactivation of *Salmonella enterica* *senovar Typhimurium* on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. **Food Microbiology**. v. 33, p. 24-29, 2013.

FONTANET, Á. R.; PUIG-PUJOL, A.; OLMOS, P.; MÍNGUEZ-SANZ, S.; MARTÍN-BELLOSO, O. A Comparison of the Effects of Pulsed Electric Field and Thermal Treatments on Grape Juice. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, p. 978 -987, 2013.

GREGORZEWSKI, F.; EHLBECK, J.; SCÜTER, O.; KROH, L. W.; ROHN, S. Treating lamb's lettuce with a cold plasma e Influence of atmospheric pressure ar plasma immanent species on the phenolic profile of Valerianella locusta. **LWT - Food Science and Technology**. v. 44, p. 2285-2289, 2011.

GURAK, P. D.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. M.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. **Journal of Food Engineering**. v. 96, p. 421-426, 2010.

GUROL, C.; EKINCI, F. Y.; ASIAN, N.; KORACHI, M. Low Temperature Plasma for decontamination of *E. coli* in milk. **International Journal of Food Microbiology**. v. 157, p. 1-5, 2012.

HATI, S.; MANDAL, S.; VIJ, S., MINIZ, P. S.; BASU, S.; KHERTRA, Y.; YADAV, D.; DAHIYA, M. Nonthermal plasma technology and its potential applications against foodborne microorganisms. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 36. p. 518-524. 2012.

KOVAČEVIĆ, D., B.; PUTNIK, P.; DRAGOVIĆ-UZELAC; PEDISIĆ, S.; JAMBRAK, A. R.; HERCEG, Z. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. **Food Chemistry**. v. 190, p. 317-323, 2016.

KIM, J. E.; LEE, DONG-UN; MIN S. C. Microbial decontamination of red pepper powder by cold plasma. **Food Microbiology**. v. 38, p. 128-136, 2014.

LACOMBE, A. NIEMIRA, B. A.; GURTLER, J. B.; FAN, X.; SITES, J.; BOYD, G.; CHEN, H. Atmospheric cold plasma inactivation on blueberries and effects on quality attributes. **Food Microbiology**. v. 46, p. 479-484, 2015.

LIEU, L. N.; LE V. V. M. Application of ultrasound in grape mash treatment in juice processing. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 17. p. 273-279, 2010.

MISRA, N.N., MOISEEV, TAMARA; PATIL, S., PANKAJ, S. K.; BOURKE, J. P., KEENER, K. M., CULLEN, P. J. Cold plasma in modified atmospheres for post-harvest treatment of strawberries, **Food Bioprocess Technology**, v.7, p. 3045-3054, 2014.

MONTENEGRO, J; RUAN, R.; MA, H.; CHEN, P. Inactivation of *E. coli* O157:H7 using a pulsed nonthermal plasma system. **Food Engineering and Physical Properties**. v. 67, n.2, p.146-148, 2002.

NIEMIRA, B. A.; SITES, J. Cold plasma inactivates Salmonella Stanley and Escherichia coli 0157:h7 inoculated on glonde delicious apples. **Journal of Food Protection**. v. 71, n. 7, p. 1357-1365, 2008.

PALA, C. U.; TOKLUCU, A. K. Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, p.719-725, 2013.

RAGNI, L.; BERARDINELLI, A.; VANNINI, L.; MONTANARI, C.; SIRRI, F.; GUERZONI, M. E.; GUARNIERI, A. Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. **Journal of Food Engineering**. v. 11, p.125-132, 2010.

RAMAZZINA, I.; BERARDINELLI, A.; RIZZI, F.; TAPPI, S.; RAGNI, L.; SACCHETTI, G.; ROCCULI, P. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**. v.107, p. 55-65, 2015.

RAMOS, B.; MILLER, F. A.; BRANDÃO, T. R. S. TEIXEIRA, P.; SILVA, C. L. M. Fresh fruits and vegetables – an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 20, p. 1-15, 2013.

RAWSON, A., PATRAS, A., TIWARI, B. K., NOCI, F., KOUTCHMA, T., BRUNTON, N. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances. **Food Research International**. v. 44, p. 1875-1887, 2011.

RØD, S. K. HANSEN, F.; LEIPOLD, F.; KNØCHEL, S. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. **Food Microbiology**. v. 30, p. 233-238, 2012.

SELCUK, M.; OKSUZ, L.; BASARAN, P. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. **Bioresource Technology**. v. 99. p. 5104–5109, 2008.

SHI, X.M.; ZHANG GUAN-JUN; WU XI-LI; MA, Y.; SHAO XIAN-JUN. Effect of Low-Temperature Plasma on Microorganism Inactivation and Quality of Freshly Squeezed Orange Juice. **IEE Transactions on Plasma Science**. v. 39.n.7, 1591-1597, 2011.

SHÜLTER, O.; EHLBECK, J.; HERTEL, C.; HABERMAYER, M.; ROTH, A.; ENGEL K. H.; HOLZHAUSER, T.; KNORR, D.; EISENBRAND, G. Opinion on the use of plasma

processes for treatment of foods. **Molecular Nutrition & Food Research**. v. 57, p. 920-927, 2013.

SUROWSKY, B.; FISCHER, A.; SCHLÜTER, O.; KNORR, D. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 19, p. 146-152, 2013.

TAPPI, S.; BERARDINELLI, A.; RAGNI, L.; ROSA, M. D.; GUARNIERI, A.; ROCCULI, P. Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples. **Innovate Food Science and Emerging Technologies**. v. 21, p. 114-122, 2014.

TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; CULLEN, P. J. Effect of non thermal processing Technologies on the anthocyanin content of fruit juices. **Food Science & Technology**. v. 20, p. 137-145, 2009.

TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J. Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. **Food and Chemical Toxicology**. v. 47, p. 2824-2829, 2009.

TIWARI, B. R., PATRAS, A., BRUNTON, N., CULLEN, P. J., O'DONNELL, C. P. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 17, p. 598-604, 2010.

TOALDO, I. M. ; CRUZ, F. A. ALVES, T. L.; GOIS, J. S.; BORGES, D. L. G.; CUNHA, H. P.; SILVA, E. L.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Bioactive potential of *Vitis labrusca* L., grape juices from the Southern Region of Brazil: Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects. **Food Chemistry**. v. 173, p. 527-535, 2015.

ZIUZINA, D. PAITI, P.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. M.; BOURKE, P. Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. **Food Microbiology**. v. 42, p. 109-116, 2014.

Efeitos do Processamento por Plasma Atmosférico sobre a Estabilidade de Compostos Bioativos em Suco de Uva

RESUMO

Recentemente, a aplicação de plasma não térmico surgiu como uma técnica promissora para a inativação de microrganismos em alimentos. Entretanto, pouca atenção tem sido dada ao impacto desta tecnologia na qualidade funcional do produto processado. Neste estudo, os efeitos do processamento por plasma atmosférico na estabilidade de compostos bioativos em suco de uva foram analisados. Para tanto, sumo de uva obtido da cultivar “Isabel” foi submetido de 0-6 minutos a um jato de plasma a pressão atmosférica gerado em gás hélio, mediante a aplicação de uma descarga de barreira dielétrica (DBD) a uma voltagem de 90kV, frequência de 10KHz e um fluxo de gás de 2litros/min. Valores de compostos fenólicos e antocianinas totais bem como potencial antioxidante foram investigadas antes e após o processamento. Os resultados revelam que, dentro das condições experimentais adotadas, o processamento por plasma atmosférico por um período de seis minutos potencializou a concentração dos compostos fitoquímicos avaliados. Os resultados são bastante encorajadores haja vista a grande instabilidade destes componentes bioativos aos métodos de processamentos tradicionais utilizados na industrialização de sucos de fruta. Contudo, estudos mais detalhados precisam ser realizados com o objetivo de investigar o comportamento desses compostos funcionais durante o tempo de vida útil do produto processado.

Palavras-chave: Plasma-frio. *Vitis* sp. Compostos fenólicos.

Atmospheric Plasma Processing by the effects on Bioactive Compounds Stability in Grape Juice

ABSTRACT

Recently, non-thermal plasma application emerged as a promising technique for the inactivation of microorganisms in food. However, little attention has been given to the impact of this technology on the functional quality of the processed product. In this study, the effects of processing by atmospheric plasma stability of bioactive compounds in grape juice to be examined. Therefore, fresh grape juice cultivar "Isabel" was exposed for 0 (control), 1, 2, 4, 6 minutes to a cold atmospheric plasma jet, generated in helium gas by applying a dielectric barrier discharge (DBD) to a voltage 90kV, frequency of 10KHz and a gas flow of 2liters/min. Amounts of phenolic compounds and anthocyanins as well as antioxidant activity were investigated before and after processing. The results show that under the adopted experimental conditions, by atmospheric plasma processing by a six-minute period enhanced the concentration of phytochemical compounds evaluated. The results are quite encouraging given the instability of these bioactive components to traditional processing methods used in the manufacturing of fruit juices. However, more detailed studies are needed in order to investigate the behavior of these functional compounds during the lifetime of the processed product.

Keywords: Cold-plasma. *Vitis* sp. Phenolic compounds.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por uma melhor qualidade de vida tem impulsionado o interesse dos consumidores em adquirir produtos processados que respeitem ao máximo as características nutricionais e funcionais do seu alimento de origem (GURAK et al., 2010). Entre esses alimentos, sucos de frutas são bastante apreciados pela população por sua associação a uma alimentação saudável (TIWARI; O'DONNELL; CULLEN, 2009).

Em meio a variedade de sucos de fruta, o sabor uva é um dos mais consumidos e concentra uma das maiores fontes de compostos fenólicos, componentes bioativos vastamente divulgados na literatura por sua possível ação bioprotetora promovida à saúde, quando contemplados à rotina alimentar (GURAK et al., 2010; PALA; TOKLUCU, 2013; CAPANOGLU et al., 2013; LIMA et al., 2014).

Entre esses compostos, destacam-se as antocianinas, pigmentos naturais presentes em vegetais responsáveis por uma diversidade de cores vibrantes que variam do vermelho, violeta e azul (CAVALCANTI; SANTOS; MEIRELES, 2011). Entretanto, por serem altamente instáveis, degradam-se facilmente quando expostos ao calor, alterações de pH, oxigênio, entre outros, gerando em suco de uva, uma coloração acastanhada, característica crítica que afeta a industrialização de suco de uva integral e, conseqüentemente, a aceitação do produto pelo consumidor (PATRAS; BRUNTON; TIWARI, 2010; PALA; TOKLUCU, 2013).

A pasteurização é o método de processamento mais utilizado na industrialização de sucos. Entretanto, apesar de garantir a segurança biológica, altera consideravelmente as características nutricionais, funcionais e sensoriais do alimento devido ao uso do calor (MONTENEGRO et al., 2002; TIWARI, O'DONNELL, CULLEN, 2009; TIWARI et al., 2010; RAWSON et al., 2011).

Nesta perspectiva, nas duas últimas décadas, diversas tecnologias emergentes de processamento a frio vem sendo desenvolvidas no intuito de oferecer aos consumidores um alimento que, além de seguro, possua características nutricionais e funcionais próximas ao seu alimento de origem (RAWSON et al., 2011; PALA; TOKLUCU, 2013). Entre as tecnologias de processamento não térmicas, como alta pressão, ultrassom, irradiação, campos elétricos pulsados, ultravioleta, campos magnéticos (TIWARI; O'DONNELL; CULLEN, 2009), a utilização do plasma atmosférico é uma das técnicas mais promissoras (MONTENEGRO et al., 2002; HATI et al., 2012; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

O plasma, também conhecido como quarto estado da matéria (SELCUK et al., 2008; SUROWSKY et al., 2013), consiste em um conjunto de componentes ativos (elétrons livres, íons positivos e negativos, radicais livres, fótons e átomos de gás) gerados a partir de reações de ionização, excitação e dissociação de um gás ou mistura de gases mediante aplicação de energia na forma de calor, campos elétricos, campos magnéticos, entre outros (BÁRDOS; BARÁNKOVÁ, 2010).

Entre as vantagens divulgadas pela literatura na utilização do plasma em alimentos destacam-se utilização de baixas temperaturas na inativação de uma ampla gama de microrganismos em alimentos sensíveis ao calor como vegetais, (BERMÚDEZ-AGUIRRE et al., 2013; ZIUZINA et al., 2014), grãos e cereais (SELCUK et al., 2008), leite (GUROL et al.; 2012), alimentos minimamente processados e embalados (FERNÁNDEZ; NORIEGA; THOMPSON, 2013; BAIER et al., 2013; MISRA et al., 2014), inativação de enzimas, como peroxidase e polifenoxidase (SUROWSKY et al., 2013) e modificação de propriedades físicas de farinha de trigo (MISRA et al., 2015). Destacam-se ainda aos aspectos positivos a baixa utilização de energia, ausência de produtos químicos, baixo custo de aplicação e não geração de resíduos industriais em sua aplicação (SELCUK et al., 2008; AFSHARI; HOSSEINI, 2014; ZIUZINA et al., 2014).

Entretanto, apesar de diversos estudos comprovarem a eficácia do processamento por plasma frio no campo da microbiologia, ainda são escassas pesquisas sobre o impacto desta tecnologia nas propriedades funcionais dos alimentos, principalmente em alimentos líquidos de origem vegetal. Dessa forma, diante da escassez de estudos com este enfoque, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do processamento por plasma atmosférico sobre a estabilidade de compostos bioativos em suco de uva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Elaboração do suco de uva

Uvas da cultivar “Isabel”, oriundas da cidade de Macaparana, Pernambuco, foram obtidas em comércio atacadista localizado em Mossoró, no Rio Grande do Norte (Figura 1).

Figura 1 - Uvas da cultivar Isabel adquiridas em Mossoró-RN para extração do suco



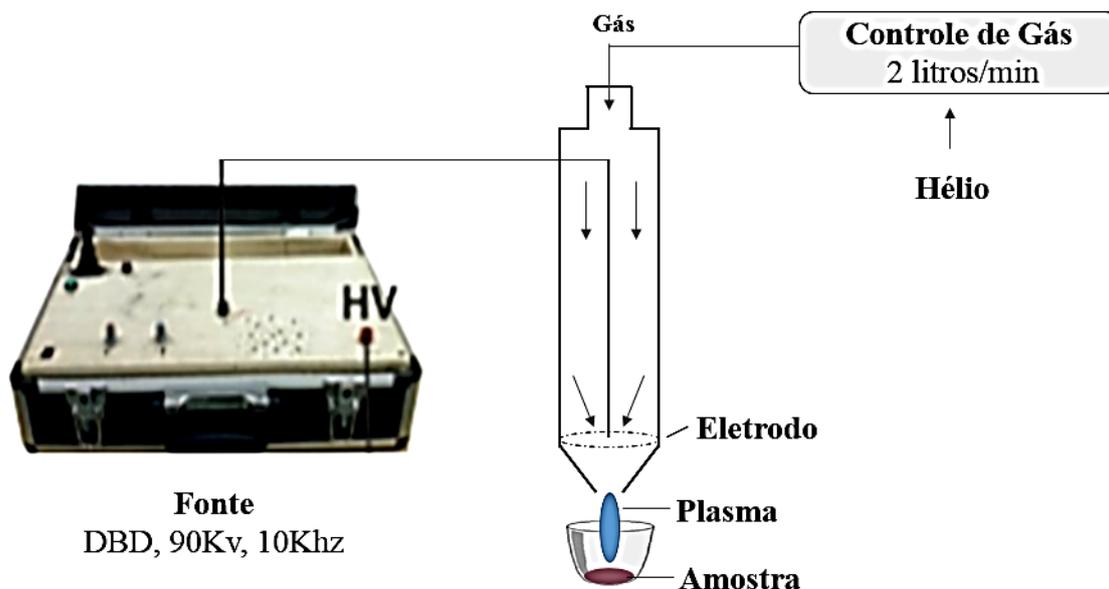
Após aquisição, as uvas foram submetidas às etapas de lavagem em água corrente, desprendimento manual das bagas e seleção conforme a Instrução normativa nº 1, de 1º de fevereiro de 2002, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Por fim, foi realizada uma segunda lavagem em água corrente. Após este processo, cerca de 4 litros de suco foram extraídos a partir de 16kg de uva “Isabel” com auxílio de uma centrifuga doméstica (Britânia 100, Brasil). Posteriormente, o suco integral foi acondicionado em recipientes esterilizados de vidro com coloração âmbar (100 mL) e armazenados em temperatura de -22°C até o início do tratamento por plasma atmosférico (~24h).

2.2 Tratamento por Plasma Atmosférico

O suco de uva foi submetido ao processamento por plasma atmosférico no Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma (LABPLASMA) do Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido (CITED) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), através de um protótipo experimental construído pela equipe de pesquisadores do LABPLASMA (Figura 2).

O jato de plasma à pressão atmosférica foi gerado em gás hélio puro (99% pureza), mediante a aplicação de uma descarga de barreira dielétrica (DBD) a uma voltagem de 90kV, frequência de 10KHz e um fluxo de gás de 2litros/min.

Figura 2 - Protótipo experimental construído pela equipe de pesquisadores da UFERSA para geração de plasma atmosférico

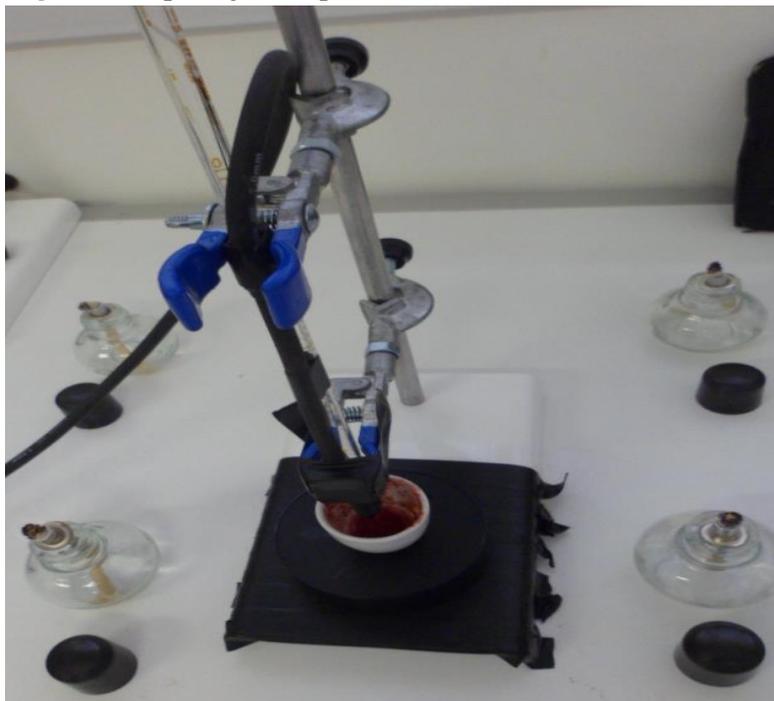


Uma alíquota de 2mL da amostra foi transferida com o auxílio de um pipetador automático para um recipiente de porcelana, posicionado diretamente sob o fluxo de saída do jato de plasma (Figura 3). A distância entre a amostra e a ponta do bocal do plasma foi fixado em 10 mm e os tempos de tratamento aplicados foram determinados em 0 (controle), 1, 2, 4, 6 minutos.

Ao longo do processamento, a amostra controle bem como a submetida ao plasma, permaneceram armazenadas em um recipiente de poliestireno com água e gelo. Ao final desta etapa, a amostra processada foi armazenada a aproximadamente -22°C .

Foram realizados 05 ensaios de 100 mL para cada tempo de tratamento aplicado, totalizando 20 ensaios. Ao final do tratamento, dois litros de suco de uva foram submetidos ao plasma atmosférico. As amostras congeladas foram transportadas de Mossoró - RN até Recife - PE (512km), submersas em gelo em uma caixa de poliestireno por aproximadamente sete horas. Após este período, foram armazenadas em -22°C até o momento das análises.

Figura 3 -Aplicação do plasma atmosférico no suco de uva



2.3 Determinações Analíticas

2.3.1 Fenólicos totais

Para determinação do teor de compostos fenólicos totais foi adotada a metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999), utilizando o método espectrofotométrico, com uso do reagente Folin-Ciocalteu (Merck) e curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de fenólicos totais em equivalente de ácido gálico por litro da amostra, medido em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1650PC). Para quantificação dos compostos fenólicos foi empregada uma curva padrão de ácido gálico, obtendo-se a equação da reta expressa por $Y = 0,001115 x - 0,00862$, com $r^2 = 0,99965$.

2.3.2 Antocianinas totais

Para determinação de antocianinas totais adotou-se a metodologia descrita por Lees & Francis (1972). O total de antocianinas foi medido em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1650PC) e expresso em mg/100g em equivalente de cianidina-3 glicosídeos. A quantificação foi realizada conforme a expressão matemática:

$$\text{Antocianinas totais: mg /100g de amostra} = \frac{\text{abs} \times V \times 100}{98,2 \times p}$$

2.3.3 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi analisada empregando o método de sequestro de radicais livres do DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) utilizando a metodologia descrita por Brand-Williams et al. (1995), modificada por Miliauskas; Venskutonis; Van-Beek (2004). A análise foi realizada misturando 0,5mL da amostra filtrada a 4,5mL da solução de DPPH (100M). Após 30 minutos à temperatura ambiente, a absorbância a 515nm foi medida em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1650PC). Os resultados expressos em % de sequestro do radical DPPH, foram calculados conforme expressão matemática descrita por Miliauskas; Venskutonis; Van-Beek (2004):

$$\% \text{ inibição} = \frac{A_b - A_a}{A_b} \times 100$$

2.4 Tratamento estatístico

Todas as experimentações foram realizadas em triplicata. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias deu-se por meio do teste de Tukey ao nível de 1% de significância, utilizando-se o software *Statistica* 6.0. Os dados apresentados nas tabelas representam os valores médios \pm o desvio padrão (n = 3).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características fitoquímicas apresentadas pelo suco de uva antes e após o processamento por plasma atmosférico encontram-se expostas na Tabela 1. Devido à ausência de publicações utilizando plasma frio em suco de uva, os resultados obtidos foram comparados a estudos com sumo de *Vitis sp.* submetido a outros tipos de tecnologias não térmicas, como ultrassom, ultravioleta, ozonização, entre outras. Os resultados também foram confrontados aos achados reportados por alguns estudos que avaliaram a eficácia do processamento por plasma nas características de qualidade em diferentes tipos de alimentos de origem vegetal e animal.

Tabela 1 – Compostos fenólicos totais, antocianinas totais e potencial antioxidante de suco de uva integral após 0, 1, 2, 4, 6 minutos de tratamento por plasma atmosférico 90kV

Tempo de Tratamento (min)	Variáveis		
	Fenólicos Totais *	Antocianinas Totais **	Atividade Antioxidante ***
0	1721,2 ± 0,01 ^b	158 ± 0,12 ^b	41,26 ± 0,09 ^b
1	1732,2 ± 0,02 ^b	228 ± 0,11 ^b	49,95 ± 0,00 ^b
2	1758,2 ± 0,04 ^b	230 ± 0,11 ^b	49,95 ± 0,00 ^b
4	1803,2 ± 0,00 ^b	231 ± 0,07 ^b	49,97 ± 0,05 ^b
6	2524,2 ± 0,00 ^a	268 ± 0,34 ^a	51,14 ± 0,00 ^a

Os resultados foram expressos em média ± D.P. Valores em colunas com a mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,01$) pelo Teste de Tukey.

*Fenólicos totais: mg/l de fenólicos totais em ácido gálico.**Antocianinas totais: mg/100g em equivalente de cianidina-3-glicosídeos. ***Atividade antioxidante: % de sequestro do radical DPPH.

3.1 Fenólicos totais

Os compostos fenólicos são substâncias com potencial antioxidante amplamente distribuídas no reino vegetal. Em frutos, sofrem influências conforme o gênero, espécie, cultivar de origem e condições endofoclimáticas (XIA et al., 2010; FRACASSETI et al., 2011; HAMINIUK, et al., 2012).

Em bebidas à base de uva, como o suco e vinho tinto, a concentração de fenólicos totais sofrerá influências conforme a variedade da espécie do fruto utilizada em sua produção. Nesse sentido, Lima et al. (2014) analisando o teor destes compostos em suco de uva de diferentes variedades de *Vitis labrusca* cultivadas na Região do Vale de São Francisco, em Petrolina, Pernambuco, reportaram variações de 779 mg/l (Isabel precoce) a 2712 mg/l (BRS Violeta). A faixa de concentração de compostos fenólicos totais relatada pelos autores encontra-se dentro dos achados apresentados nesta pesquisa em que foi identificado 1721,2 mg/l em suco de uva produzido a partir da cultivar “Isabel” (amostra controle).

Além das condições endofoclimáticas e variedades do gênero *Vitis sp.*, outro fator impactante na concentração final de compostos fenólicos em suco de uva são os métodos de processamento adotados em sua produção (LOANNOU et al., 2012). Em vista disso, Capanoglu et al., (2013) analisando o comportamento de compostos bioativos nas fases de produção de suco de uva concentrado, observaram uma ampliação de 42,0% na primeira

etapa (esmagamento das bagas) e reduções nas demais fases de processamento, 80,0% (pasteurização), 82,9% (clareamento), 84,0% (filtração), 84,4% (concentração), em comparação ao fruto *in natura*. Os resultados indicam que a remoção de resíduos durante o processamento do suco, diminui significativamente a concentração de compostos fenólicos na bebida, uma vez que o epicarpo e sementes concentram as maiores fontes de compostos bioativos em *Vitis sp.*

Em relação às amostras processadas por plasma atmosférico, um período curto de tratamento (seis minutos), resultou em um aumento significativo de 68% na concentração de fenólicos totais em suco de uva. Resultado similar foi descrito por Garofulic et al. (2014) em suco de cerejas silvestres após três minutos de tratamento por plasma atmosférico. Em suco de romã, Kovačević, et al. (2016) obtiveram um incremento de 49% na concentração de compostos fenólicos totais utilizando jato de plasma frio gerado em argônio, mediante a aplicação de um campo elétrico 25 kHz.

Uma razão provável para esta ampliação após o processamento por plasma frio estaria baseada na presença de partículas em suspensão não uniformes, em amostras de suco não tratadas que ao serem submetidas ao processamento por plasma, dissociam-se, aumentando os níveis de antocianinas, e, conseqüentemente, a concentração total de fenólicos. Uma segunda hipótese sugerida estaria baseada na quebra aleatória de ligações de compostos fenólicos complexados a glicosídeos, presentes nas partículas suspensas do suco, gerando um aumento na concentração de fenólicos totais livres nessas bebidas.

Diferentemente dos resultados obtidos em sucos, nenhuma alteração no teor de compostos fenólicos foi identificada por Ramazzina et al. (2015) ao submeterem a superfície de kiwis minimamente processados por até 40 minutos de tratamento por plasma frio gerado em gás nitrogênio por uma descarga de barreira dielétrica de 15kV.

Contrariando esses achados, uma degradação significativa nos teores de fenólicos foi relatado por Gregorzewski et al. (2011) ao avaliarem o comportamento de alface de cordeiro após dois minutos de exposição a um jato de plasma a pressão atmosférica gerado a partir do gás argônio, campo elétrico de 27,12 MHz e potência de 35W. Os autores sugerem que as interações entre o ar e espécies reativas geradas pelo plasma, como o radical livre, podem ter levado a erosão das camadas de tecido epidérmico da alface expondo os flavonoides e demais compostos acumulados nos vacúolos centrais das células do vegetal.

3.2 Antocianinas

Corantes naturais bastante instáveis, as antocianinas podem ser facilmente degradadas por diversos fatores, tais como temperatura, pH, luz, oxigênio, presença de ácido ascórbico, dióxido de enxofre, enzimas, entre outros (TIWARI et al., 2010; RAWSON et al., 2011). Apesar da elevada susceptibilidade à degradação, um aumento significativo na concentração de antocianinas totais foi identificado em suco de uva após o processamento por plasma atmosférico pelo período de seis minutos (Tabela 6).

Ampliação nos valores de antocianinas também foi identificado por Garofulić et al. (2014) ao compararem o efeito do tratamento térmico com o plasma atmosférico no comportamento de antocianinas em suco de cerejas silvestres. Em suco de romã, o processamento por plasma frio durante três minutos ampliou a concentração de antocianinas de 21% para 35% (KOVAČEVIĆ, et al. 2016). A justificativa revelada pelos autores estaria relacionada com a presença de pequenas partículas indefinidas na amostra do suco não tratado que, ao serem submetidas ao plasma, dissociam-se, ampliando os níveis deste pigmento natural.

Contrariamente a estes achados, uma redução significativa de antocianinas foi observada após 90 segundos de tratamento por plasma atmosférico em mirtilos devido à redução da firmeza do fruto, e conseqüentemente, maior exposição dos pigmentos naturais presentes nas células do vegetal (LACOMBE et al., 2015).

Analisando o comportamento de suco de uvas tintas submetidas ao tratamento térmico (85° por 15min), Pala e Toklucu (2013) verificaram que este tratamento afetou significativamente o teor de antocianinas com uma redução de 11,8% em sua concentração com conseqüente formação de compostos poliméricos de coloração acastanhada. Entretanto, Tiwari et al. (2009) ao adotarem a ozonização como técnica de tratamento em suco de uva observaram uma alta degradação em antocianinas, sugerindo que nem sempre os tratamentos não térmicos são as melhores opções para a preservação de antocianinas em suco de uva.

O teor de antocianinas totais detectados neste estudo para a amostra controle (160mg/100g) encontra-se acima dos achados descritos por Gurak et al. (2010) em suco de *Vitis sp.* produzido com frutos oriundos de uma unidade da Embrapa localizada na região sul do Brasil (110,99mg/100g).

3.3 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante em polpa de uva modifica conforme a variedade da espécie e condições endofoclimáticas do fruto. Neste sentido, Nile et al. (2013) ao avaliarem o teor de fenólicos totais e propriedades antioxidantes em diferentes variedades de *Vitis sp.*, pertencentes às espécies *Vitis vinifera*, *Vitis labrusca* e *Vitis híbrido*, identificaram que a característica antioxidante dos extratos da polpa variou de 35,4% (Campbell Early) a 84,5% (Hongiseul). Em suco de uva, Aliakbarlu et al. (2014) observaram uma variação de 27,7% a 82,3% na capacidade de sequestro do radical DPPH entre dezenove amostras produzidas a partir de diferentes variedades do fruto originárias no Irã.

No Brasil, com o objetivo de propor um modelo de autenticação da composição fenólica e capacidade antioxidante em suco integral de uva tinta nacional, Granato et al. (2015) avaliaram sessenta e cinco amostras, 19 orgânicas e 46 em sistema convencional, adquiridas nos estados de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Sergipe, Ceará e Paraíba, o que corresponde a mais de 95% dos produtores de suco de uva integral no país. Valores médios de 41,38 e 44,54 % de sequestro do radical DPPH foram identificados nas bebidas produzidas com fruto cultivado em sistema convencional e orgânico, respectivamente. Resultado similar foi identificado na presente pesquisa com atividade antioxidante de 41,26% para suco de uva integral produzido a partir da variedade “Isabel” (amostra controle).

Em relação aos ensaios de suco de uva processados por plasma atmosférico, uma potencialização significativa na ação antioxidante foi revelada após seis minutos de tratamento (Tabela 1). Em fruta *in natura*, nenhuma diferença significativa foi encontrada por Ramazzina et al. (2015) no comportamento da atividade antioxidante em kiwis minimamente processados após 40 minutos de tratamento com plasma atmosférico e posterior estocagem por um período de quatro dias em condições controladas e constantes com temperatura de 4°C e 95% de umidade relativa.

A ampliação na atividade antioxidante em suco de uva pode estar relacionada com o aumento significativo no teor de fenólicos totais e antocianinas após seis minutos de tratamento por plasma frio. Pequenas partículas suspensas presentes na bebida podem ter sofrido dissociação com o processamento aumentando os níveis de antocianinas e fenólicos totais e, conseqüentemente, a sua ação antioxidante.

Ao comparar o efeito do processamento à frio por campos elétricos pulsados e tecnologia térmica sobre as propriedades nutricionais e funcionais de suco de uva fresco,

Fontanet et al. (2013) observaram uma redução de 9% e 13%, respectivamente, na capacidade antioxidante do produto. O suco de uvas vermelhas, produzido a partir de diferentes variedades de *Vitis vinífera*, foi processado à frio durante 2,5 minutos por pulsos bipolares de 4 μ s com um campo elétrico de 35kV cm⁻¹ e uma frequência de pulso de 400Hz. Em tratamento térmico a bebida foi submetida a uma temperatura de 90°C durante 5 minutos. Os resultados sugerem que, dentro das condições experimentais adotadas em ambos os estudos, a utilização do plasma não térmico mostrou-se mais eficaz do que campos elétricos pulsados e a pasteurização na atividade antioxidante em suco de uva.

4. CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo indicam que fenólicos e antocianinas totais bem como a atividade antioxidante de suco de uva “Isabel” submetido ao processamento por plasma atmosférico durante o período de seis minutos apresentaram valores significativamente superiores em relação à amostra controle.

Os achados identificados são bastante promissores tendo em vista à grande instabilidade dos compostos bioativos quando submetidos aos métodos tradicionais de processamento em alimentos. Entretanto, novos experimentos precisam ser realizados, a fim de detalhar o comportamento desses fitoquímicos durante o tempo de vida útil do alimento processado.

5. REFERÊNCIAS

AFSHARI, R.; HOSSEINI, H. Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect. **Journal of Paramedical Sciences (JPS)**. v. 5, p.116-120, 2014.

ALIAKBARLU, J.; KHALILI, S.; MOHAMMADI, S.; NAGHILI, H. Physicochemical properties and antioxidant activity of Doshab (a traditional concentrated grape juice). v. 21, p.367-371, 2014.

BAIER, M.; FOERSTER, J.; SCHNABEL, U.; KNORR, D.; EHLBERCK, J.; HERPPICH, W. B.; SHLÜTER, O. Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. **Postharvest Biology and Technology**. v. 84, p. 81-87, 2013.

BÁRDOS, L.; BARÁNKOVÁ, H. Cold atmospheric plasma: sources, processes, and applications. **The Solid Films**. v. 518, p. 6705-6713, 2010.

BERMUDÉZ-AGUIRRE, D.; WEMLINGER, E.; PEDROW, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; GARCIA-PEREZ, M. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. **Food Control**. v. 34, p. 149-157, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 1, de 01 de fevereiro de 2002**. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e de Qualidade para a classificação dos produtos a seguir discriminados: Abacaxi; Uva Fina de Mesa; Uva Rústica. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/INM00000001.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2014.

CAPANOGLU, E.; VOS, R. C. H.; HALL, R. D.; BOYACIOGLU, D.; BEEKWILDER, J. Changes in polyphenol content during production of grape juice concentrate. **Food Chemistry**. v. 139, p. 521-526, 2013.

CAVALCANTI, R. N.; SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems-an overview. **Food Research International**. v. 44, p.499-509, 2011.

FERNÁNDEZ, A.; NORIEGA, E. THOMPSON, A. Inactivation of *Salmonella enterica* *senovar Typhimurium* on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. **Food Microbiology**. v. 33, p. 24-29, 2013.

FONTANET, Á. R.; PUIG-PUJOL, A.; OLMOS, P.; MÍNGUEZ-SANZ, S.; MARTÍN-BELLOSO, O. A Comparison of the Effects of Pulsed Electric Field and Thermal Treatments on Grape Juice. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, p. 978 -987, 2013.

FRACASSETTI, D., LAWRENCE, N.; TREDOUX, A. G. J.. TIRELLI, A.; NIEUWOUDT, H. H. DU-TOIT, W. J. Quantification of glutathione, catechin and caffeic acid in grape juice and wine by a novel ultra-performance liquid chromatography method. **Food Chemistry**. v. 128, p. 1136-1142, 2011.

GRANATO, D.; KOOT, A.; SCHNITZLERM, E. RUTH, S. M. V. Authentication of geographical origin and crop system of grape juices by phenolic compounds and antioxidant activity using chemometrics. **Journal of Food Science**. V. 80, n° 3, p. 584-593, 2015.

GAROFULIĆ, I.E.; JAMBRAK, A. R.; MILOŠEVIĆ, S.; DRAGOVIĆ-UZELAC, V.; ZORIĆ, Z.; HERCEG, Z. The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and

phenolic acid content of sour cherry marasca (*Prunus cerasus* var.). **Food Science and Technology**. p.1-6, 2014.

GREGORZEWSKI, F.; EHLBECK, J.; SCÜTER, O.; KROH, L. W.; ROHN, S. Treating lamb's lettuce with a cold plasma e Influence of atmospheric pressure and plasma immanent species on the phenolic profile of *Valerianella locusta*. **LWT - Food Science and Technology**. v. 44, p. 2285-2289, 2011.

GURAK, P. D.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. M.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. **Journal of Food Engineering**. v. 96, p. 421-426, 2010.

GUROL, C.; EKINCI, F. Y.; ASIAN, N.; KORACHI, M. Low Temperature Plasma for decontamination of *E. coli* in milk. **International Journal of Food Microbiology**. v. 157, p. 1-5, 2012.

HAMINIUK, C. W. I.; MACIEL, G. M.; PLATA-OVIEDO, S. V.; PERALTA, R. M. Phenolic compounds in fruits – an overview. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 47, p. 2023-2044, 2012.

HATI, S.; MANDAL, S.; VIJ, S., MINIZ, P. S.; BASU, S.; KHERTRA, Y.; YADAV, D.; DAHIYA, M. Nonthermal plasma technology and its potential applications against foodborne microorganisms. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 36. p. 518-524. 2012.

KOVAČEVIĆ, D., B.; PUTNIK, P.; DRAGOVIĆ-UZELAC; PEDISIĆ, S.; JAMBRAK, A. R.; HERCEG, Z. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. **Food Chemistry**. v. 190, p. 317-323, 2016.

LACOMBE, A. NIEMIRA, B. A.; GURTLER, J. B.; FAN, X.; SITES, J.; BOYD, G.; CHEN, H. Atmospheric cold plasma inactivation on blueberries and effects on quality attributes. **Food Microbiology**. v. 46, p. 479-484, 2015.

LEES, D. H.; FRANCIS, F.J. Standardization of pigment analysis in Cranberries. **HortScience**. v. 7, n. 1, p. 83 – 84, 1972.

LIMA, M. S.; SILANI, I. S. V.; TOALDO, I. M.; CORRÊA, L. C.; BIASOTO, A. C. T.; PEREIRA, G. E.; BORDIGNON-LUIZ. Phenolic compounds organic acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian varieties planted in the Northeast Region of Brazil. **Food Chemistry**. v. 161, p. 94-103, 2014.

LOANNOU, I.; HAFSA, I.; HAMDI, S.; CHARBONNEL, C.; GHOUL, M. Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behavior. **Journal of Food Engineering**. v.111, p.208-217, 2012.

MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN-BEEK, T. A. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. **Food Chemistry**. v.85, p.231-237, 2004.

MISRA, N.N., MOISEEV, TAMARA; PATIL, S., PANKAJ, S. K.; BOURKE, J. P., KEENER, K. M., CULLEN, P. J. Cold plasma in modified atmospheres for post-harvest treatment of strawberries, **Food Bioprocess Technology**, v.7, p. 3045-3054, 2014.

MISRA, N. N.; KAUR, S.; TIWARI, B. K.; KAUR, A.; SINGH, N. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. **Food Hydrocolloids**. v. 44, p. 115-121, 2015.

MONTENEGRO, J; RUAN, R.; MA, H.; CHEN, P. Inactivation of *E. coli* O157:H7 using a pulsed nonthermal plasma system. **Food Engineering and Physical Properties**. v. 67, n.2, p.146-148, 2002.

NILE, S. H.; KIM, S. H.; KO, E. Y.; PARK, S. W. Polyphenolic contents and antioxidant properties of different grape (*V. vinifera*, *V. labrusca*, and *V. hybrid*) cultivars. **Biomed Research International**. p.1-5, 2013.

PALA, C. U.; TOKLUCU, A. K. Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, p.719-725, 2013.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; TIWARI, B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 3-11, 2010.

RAMAZZINA, I.; BERARDINELLI, A.; RIZZI, F.; TAPPI, S.; RAGNI, L.; SACCHETTI, G.; ROCCULI, P. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**. v.107, p. 55-65, 2015.

RAWSON, A., PATRAS, A., TIWARI, B. K., NOCI, F., KOUTCHMA, T., BRUNTON, N. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances. **Food Research International**. v. 44, p. 1875-1887, 2011.

SELCUK, M.; OKSUZ, L.; BASARAN, P. Decontamination of grains and legumes infected

with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. **Bioresource Technology**. v. 99, p. 5104–5109, 2008.

SUROWSKY, B.; FISCHER, A.; SCHLÜTER, O.; KNORR, D. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 19, p. 146-152, 2013.

TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; CULLEN, P. J. Effect of non thermal processing Technologies on the anthocyanin content of fruit juices. **Food Science & Technology**. v. 20, p. 137-145, 2009.

TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J. Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. **Food and Chemical Toxicology**. v. 47, p. 2824-2829, 2009.

TIWARI, B. R., PATRAS, A., BRUNTON, N., CULLEN, P. J., O'DONNELL, C. P. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 17, p. 598-604, 2010.

WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 47, p.1801-1812, 1999.

XIA, EM-QIN; GENG, GUI-FANG; GUO, YA-JUN; LI, HUA-BIN. Biological activities of polyphenols from grapes. **International Journal of Molecular Sciences**. v.11, p. 622-646, 2010.

ZIUZINA, D. PAITI, P.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. M.; BOURKE, P. Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica serovar typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. **Food Microbiology**. v. 42, p. 109-116, 2014.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Características de qualidade em suco de uva foram aprimoradas após o tratamento por plasma atmosférico gerado em gás hélio, mediante aplicação de uma descarga de barreira dielétrica a uma voltagem de 90kV, frequência de 10KHz e um fluxo de gás de 2litros/min.

Todos os atributos físico-químicos do suco de uva fresco (pH, sólidos solúveis, acidez titulável, cor, açúcares redutores) foram preservados nas amostras tratadas. Quanto à qualidade microbiológica, microrganismos mesófilos aeróbios, bolores e leveduras presentes na amostra não tratada foram inativados após dois minutos de processamento. Além disso, os compostos bioativos contidos na bebida não foram afetados negativamente, havendo um incremento significativo nas concentrações de fenólicos e antocianinas totais e, conseqüentemente, na atividade antioxidante do sumo de uva após seis minutos de exposição ao plasma não térmico.

Os resultados sugerem o plasma atmosférico como um método de processamento eficaz e promissor em suco de uva. Contudo, alterações nutricionais, mudanças químicas e possível toxicidade em alimentos precisam ser investigados para determinar em que medida esse processamento afeta o produto durante o seu tempo de vida útil. Além disso, para que a tecnologia se torne viável a nível industrial, esforços investigativos são necessários visando ampliar o volume de suco fresco submetido a este método de processamento não térmico emergente.