

Mirella Lima Binoti*
Afonso Mota Ramos**

RESUMO

Os consumidores estão cada vez mais conscientes da importância de uma alimentação saudável e livre de contaminação, buscando alimentos que atendam a essa necessidade. O presente trabalho teve como objetivo fazer um levantamento bibliográfico através de artigos atuais encontrados nas bases de dados Scielo, Periódicos Capes, Science Direct, sobre duas metodologias não térmicas de conservação: a alta pressão hidrostática e o campo elétrico pulsado. Ambas possuem a características de eliminar microrganismos e inativar enzimas, ao mesmo tempo em que, provocam mínima ou nenhuma, alteração no valor nutricional dos alimentos.

Palavras-chave: Alimento. Conservação de alimentos. Enzimas.

1 INTRODUÇÃO

Os alimentos estão sujeitos a diversos tipos de alterações, causadas principalmente por microrganismos, enzimas e reações com o oxigênio do ar. Os processos de conservação dos alimentos, sejam isolados ou em associação, visam evitar essas alterações, possuindo como objetivos principais, o aumento da vida útil e a melhoria da qualidade microbiológica e sanitária dos alimentos (SOUSA et al., 2012).

Tratamentos térmicos de conservação são usados para inativação de microrganismos em alimentos, principalmente por ser uma tecnologia efetiva, econômica e facilmente disponível, porém, apresentam a desvantagem de causar danos à composição nutricional e muitas vezes nas características sensoriais. A conscientização do consumidor quanto à importância de uma dieta à base de produtos naturais, de seu valor nutricional e a tendência cada vez maior de se consumir alimentos processados com as características sensoriais dos in natura têm contribuído não só para o aumento do consumo de frutas tropicais, mas também na procura por alimentos que sofram o mínimo de alteração durante o processamento, tanto em suas características organolépticas quanto nutricionais (BRITTO, 2011).

Por isso, as pesquisas têm avançado no sentido da utilização de tecnologias que alterem o mínimo

possível as características originais (sabor, cor, aroma e composição nutricional) dos alimentos e que mantenham as propriedades benéficas dos produtos e atendam a todas as demandas dos consumidores, resultando na obtenção de produtos com valor aumentado e despertando novas expectativas para a agricultura e para a indústria.

O uso da alta pressão hidrostática e campo elétrico pulsado como tecnologia de conservação não térmica de alimentos estão em ênfase na indústria alimentícia, pois propicia todos os benefícios, do ponto de vista microbiológico e nutricional, na produção de alimentos seguros (SHINAGAWA et al., 2013).

O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão de literatura sobre os métodos não térmicos de conservação de alimentos, a saber, alta pressão hidrostática e campo elétrico pulsado de alta intensidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Dentre os métodos não-térmicos podemos citar: irradiação ionizante, ultra-som sob baixa pressão, alta pressão hidrostática e campo elétrico pulsado (MAÑAS; PAGÁN, 2005). A seguir serão relatados alguns tópicos importantes sobre a alta pressão hidrostática e campo elétrico pulsado.

* Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Nutrição, Email: mirella.binoti@ufjf.edu.br

** Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Email: amramos@ufv.br

2.1 Alta pressão hidrostática (APH)

O processo por Alta Pressão Hidrostática - APH, também pode ser chamado de High Pressure Processing (HPP), High Hydrostatic Pressure (HHP) ou Ultra High Pressure (UHP), nomenclaturas internacionais comumente utilizadas. Este processo consiste em submeter o alimento sólido ou líquido, embalado ou não, a altas pressões que podem variar de 100 a 1000 MPa (equivalente a 1000 a 9000 atm). O primeiro estudo sobre a letalidade provocada pelo APH foi conduzido no final do século XIX, em que se pode combinar o uso de temperatura, positiva ou negativa, provocando a inativação enzimática, a destruição de microrganismos, e estendendo a vida de prateleira, sem, contudo, alterar a qualidade nutricional e sensorial dos produtos (MANÁS; PAGÁN, 2005). O processamento permite ainda outras aplicações na indústria de alimentos como, desnaturação de proteínas e enzimas, redução da temperatura de congelamento e de descongelamento, extração de substâncias orgânicas e controle de reações químicas e sínteses orgânicas (NASCIMENTO et al., 2013).

O processamento consiste em submeter o produto à alta pressão dentro de um vaso, utilizando um meio que transfere a pressão ao produto. Esse método baseia-se em dois princípios gerais: Princípio de Le Chatelier e Princípio isostático. O processamento de alta pressão, atinge todo o produto de forma homogênea, independente do volume e da forma da amostra, diferentemente dos processos térmicos e de outras tecnologias de preservação (TORRES; VELAZQUEZ, 2005).

Nos EUA, a primeira companhia a produzir alimentos por APH foi a High Pressure Research, que colocou no mercado produtos como ostras, salmão, iogurte, frutas e suco de fruta. Um produto denominado “guacamole”, produzido por APH a partir da polpa de abacate temperada, manufaturada no México pela empresa Avomex, tem sido amplamente comercializado nos EUA. A França foi o primeiro país

da Comunidade Européia a ter produtos produzidos por APH disponíveis comercialmente (GRANT et al., 2000). No Brasil a EMBRAPA tem desenvolvido alguns trabalhos em escala piloto (ROSENTHAL et al., 2005), e hoje já é possível encontrar no mercado brasileiro suco de fruta processado por alta pressão a frio, comercializado pela empresa Natural one. Na Tabela 1 podem ser visualizadas algumas aplicações do APH na indústria de alimentos japonesa.

2.1.1 Efeito de altas pressões em alimentos

O principal benefício da tecnologia da alta pressão hidrostática é seu menor efeito deletério na composição, sabor e características nutricionais. O tratamento com altas pressões a temperatura ambiente afeta apenas ligações químicas relativamente fracas (ponte de hidrogênio, ligações hidrofóbicas e iônicas), causando a ruptura da membrana celular dos microrganismos e alterando a estrutura de enzimas, ocasionando destruição e desnaturação, respectivamente, levando ao aumento da vida de prateleira dos alimentos. Pêssegos e peras submetidas a 400 MPa por 30 minutos permaneceram estáveis por um tempo mínimo de cinco anos, mantendo o sabor, o aroma e a cor. A utilização da alta pressão em sucos cítricos permite obter produtos com sabor e aroma da fruta fresca, sem perda da vitamina C e com uma vida útil de 17 meses (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999). Já a elevação da acidez do iogurte durante o armazenamento, pode ser prevenida com pressões entre 200 e 300 MPa por 10 minutos a 10 °C. Assim consegue-se manter a concentração inicial de bactérias lácticas e se evita sua reprodução (SANGRONIS et al., 1997).

As ligações não-covalentes, responsáveis pela estrutura terciária das proteínas também não são afetadas, produzindo características de qualidade muito importantes nos alimentos, melhorando as propriedades reológicas e funcionais dos alimentos em comparação com os métodos convencionais que

TABELA 1
Produtos processados por APH no Japão.

Produto	Processo	Função da APH	Observação
Iogurte, gelatina, geleia, marmeladas	400 MPa; 10 - 30 min; 20°C	Pasteurização; facilitar a penetração de açúcar e formação de gel.	Validade de 2 meses a 4°C
Suco de tangerina	300 - 400 MPa; 2 - 3 min; 20°C	Melhoramento do odor.	Validade de 3 meses a 4°C
Corte de carne bovina	100 - 150 MPa; 30 - 40 min; 20°C	Acelera a maturação e o amaciamento e aumenta a vida útil.	Amaciamento (redução de 2 semanas para 3 horas)
Salsicha e pudim de peixe	Não declarado	Gelatinização, inativação de microrganismo.	Validade de 2 semanas a 4°C
Saque	Pressurização de partículas	Inativação de leveduras, finalizar a fermentação.	-
Suco de pomelo	200 MPa; 10 - 15 min; 5°C	Redução do amargor.	Validade de 3 meses a 4°C

Fonte: Adaptado de CHEFTEL, 1995 a partir de MANÁS; PAGÁN, 2005.

utilizam calor. As mudanças sensoriais produzidas nos alimentos processados por altas pressões estão basicamente associados às modificações da textura, que por sua vez, são ocasionadas pelas modificações reológicas, afetando-se beneficemente as propriedades funcionais dos alimentos. Por exemplo, o tomate se torna resistente ao corte, ao passo que a carne torna-se mais macia e, mesmo uma carne muito fresca, submetida a altas pressões por somente 10 minutos, adquire uma textura tão suave como se fosse armazenada no refrigerador por duas semanas (SANGRONIS et al., 1997). Com o APH a estrutura do amido de arroz se altera, o que permite um cozimento em um tempo menor. A aplicação de uma pressão de 500 MPa a temperatura ambiente por 15 minutos, faz com que a batata adquira uma textura agradável. Frutas como peras e laranjas tornam-se mais doces, suaves e transparentes (KNORR, 1993).

O APH deixa intactas as ligações covalentes das moléculas pequenas, como a maioria das vitaminas, dos compostos antioxidantes e dos compostos voláteis, que conferem valor nutricional aos alimentos e sabor (POTHAKAMURY et al., 1995; SMELT, 1998).

Por isso, a tecnologia é vantajosa e tem sido escolhida como método de conservação de alimentos, pois causa mínima degradação no flavor e nos nutrientes, se comparada ao tradicional método térmico da pasteurização; onde tanto ligações covalentes como não covalentes são afetadas, além de a aplicação dessa tecnologia em produtos de frutas e vegetais oferecer uma chance de produção de alimentos com alta qualidade, segura e com maior satisfação e incremento na qualidade de vida e saúde do ser humano (POLYDERA; NIKOLAUS; PETROS, 2004). Outro fator importante é a habilidade para conservar o alimento sem necessidade de utilização de aditivos químicos (DELIZA et al., 2005). O APH pode ainda ser utilizado à temperatura ambiente, para a extração de importantes metabólitos como os pigmentos (POTHAKAMURY et al., 1995).

2.1.2 Efeito da alta pressão hidrostática sobre os microrganismos

Em geral, o processamento de alimentos por pressões entre 200 e 600 MPa (método hidrostático) inativa leveduras, fungos e a maioria das células vegetativas de bactérias, incluindo patógenos infecciosos de alimentos. Várias mudanças morfológicas são observadas com o aumento da pressão, dentre as quais estão compressão dos vacúolos gasosos, alongamento da célula, separação da membrana celular com formação de poros, modificações no citoesqueleto, modificações

no núcleo e em organelas intracelulares e ainda desnaturações proteicas na membrana, modificando sua permeabilidade e seletividade, podendo resultar na inativação da célula (CAMPOS; DOSUALDO; CRISTIANINI, 2003).

A viabilidade de leveduras durante o tratamento de pressão hidrostática diminui com valores crescentes de pressão e este efeito é mais pronunciado quando as células estão submetidas a pressões acima de 100 MPa. Na fase estacionária, são mais resistentes à pressão do que as células vegetativas (FERNANDES, 2005). As bactérias no início da fase logarítmica são normalmente mais sensíveis a pressão do que as células em fase estacionária, lag ou de letalidade.

A forma da bactéria também influencia na resistência à pressão; em geral, cocos são mais resistentes do que bastonetes (CAMPOS et al., 2003). As bactérias gram-positivas são mais resistentes à pressão do que bactérias gram-negativas. Tal fato é explicado devido a sua parede celular ser mais espessa, contendo maior quantidade de peptidoglicanos. Uma membrana mais rígida confere uma maior fragilidade diante da pressão submetida, por propiciar uma menor flexibilidade (SMELT, 1998).

Pressões hidrostáticas em valores subletais induzem a expressão de uma enzima desaturase em leveduras. Essa enzima promove a dessaturação de lipídeos de membrana, ou seja, promovem um aumento no número de insaturações (FERNANDES et al., 2004), fazendo com que a membrana se torne mais fluida e as células mais barotolerantes (CASADEI et al., 2002). Os danos à membrana citoplasmática após a pressurização foram relatados, como a perda de respostas osmóticas, absorção de corantes vitais (MANÃS; MACKEY, 2004; PAGÁN; MACKEY, 2000), perda do material intracelular, e formações dos brotos e de vesículas de origem lipídica (MANÃS; MACKEY, 2004).

A perda da função de algumas proteínas de membrana, incluindo a ATPasintase e bombas de efluxo de drogas, também foi descrita (MOLINA-HOPNER et al., 2004). Uma relação direta entre a perda da integridade de membrana e perda da viabilidade foi encontrado para tratamento de pressão em células em crescimento exponencial (MANÃS; MACKEY, 2004; PAGÁN; MACKEY, 2000). Foi também demonstrado que membrana externa e citoplasmática é permeabilizada em alguma extensão e que o tratamento de pressão em células na fase estacionária de *Escherichia coli* pode manter a membrana citoplasmática fisicamente intacta após a descompressão, mesmo dentro de células inoperantes (MANÃS; MACKEY, 2004; PAGÁN; MACKEY, 2000).

Mudanças conformacionais do núcleo, dos ribossomos e da proteína citoplasmática foram descritas (MANÃS; MACKEY, 2004), dados encontrados também em estudos com levedura (FERNANDES; FARINA; KURTENBACH, 2001). Parece claro que algumas dessas lesões celulares, como a condensação do DNA e de proteína, não são necessariamente letais (MANÃS; MACKEY, 2004) e são reparáveis, desde que a célula mantenha uma membrana funcional e as circunstâncias ambientais sejam apropriadas. A membrana é o alvo chave, mas a perda extensiva do soluto durante a pressurização, a coagulação da proteína, a inativação de enzimas chave e as mudanças conformacionais dos ribossomos, junto com mecanismos danificados da recuperação, são necessários para destruir as bactérias (CHEFTEL, 1995 apud MANÃS; PAGÁN, 2005).

A grande maioria dos esporos de bactérias e fungos não são inativados por pressões até 1000 MPa (SMELT, 1998). Esporos podem germinar usando-se baixas pressões, podendo-se utilizar ciclos de pressões ou combinar temperatura para induzir a germinação (BALASUBRAMANIAM; FARKAS, 2008).

2.1.3 Efeito da alta pressão hidrostática sobre proteínas e enzimas

As proteínas são mantidas por interações entre os aminoácidos e pelas interações com o solvente ao redor. Mudanças nos fatores externos, como pressão e temperatura, podem perturbar o complexo das interações moleculares e entre solvente-proteína e podem, conseqüentemente, levar ao desdobraimento e/ou à desnaturação da cadeia de peptídeos. A redução do volume acompanhando a desnaturação surge da formação ou ruptura de ligações não-covalentes e dos rearranjos das moléculas do solvente. Mesmo pequenas mudanças no sítio ativo podem levar à perda da atividade enzimática (WHITE, 2000).

Os efeitos do APH sobre as enzimas podem ser divididos em duas classes. Na primeira, baixas pressões (~100 MPa) ativam algumas enzimas. Este efeito estimulante é somente observado em enzimas monoméricas. Pressões muito elevadas, geralmente induzem a inativação de enzimas, fato influenciado pelo: pH, concentração do substrato, tempo, subunidades da estrutura da enzima e temperatura de pressurização (POTHAKAMURY et al., 1995).

Com relação ao escurecimento não enzimático, as reações de condensação que ocorrem no início do escurecimento, como a reação de Maillard, são inibidas com a aplicação de APH na faixa de 50 a 200 MPa. Em conseqüência, o desenvolvimento de sabor e cor típicos desta reação não ocorre (SANGRONIS et al., 1997).

Algumas enzimas como a pectinesterase, lipase, polifenol oxidase, lipoxigenase, peroxidase, lactoperoxidase, fosfatase e catalase, têm sido examinadas em distintas condições, com pressões que oscilam entre 0,1 a 900 MPa, temperaturas de 25°C a 60°C, pH de 3 a 7, e tempos de tratamento de 2 a 45 minutos. Os resultados com um tampão padrão tornou possível ordenar as enzimas conforme a sua sensibilidade (inativação pelas pressões), na seguinte ordem: lipoxigenase, lactoperoxidase, pectinesterase, lipase, fosfatase, catalase, polifenol oxidase e peroxidase. Uma combinação de pressurização com temperatura moderada elevou o grau de inativação das enzimas. O processamento utilizando a pressurização de sistemas alimentares mostrou uma efetiva proteção dos ingredientes dos alimentos, pela inativação das enzimas mais evoluídas. A sacarose protegeu a pectinesterase da inativação pela pressurização, enquanto a lactoperoxidase e a lipoxigenase foram estáveis no leite e no tampão (SEYDERHELM et al., 1996).

2.2 Campo elétrico pulsado (CEP)

O Campo elétrico pulsado (CEP) uma tecnologia de processamento mínimo promissor e interessante para os cientistas e para a indústria alimentícia, sendo um novo e alternativo método de conservação para alimentos líquidos (MARX; MOODY; BERMÚDEZ-AGUIRRE, 2011; RAMOS et al., 2006).

Quando se tem o intuito de conservação de alimentos, ou seja, inativar enzimas e destruir microrganismos, a metodologia consiste em submeter o produto a campos elétricos pulsados de alta intensidade (CEPAI) (na ordem de 5 a 55 kV.cm⁻¹) com pulsos elétricos de curta duração (ms ou µs), repetidos muitas vezes (constituindo o número de pulsos) (SOLIVA-FORTUNY et al., 2009).

Alimentos líquidos geralmente conduzem relativamente bem a eletricidade devido à presença de eletrólitos (íons e substâncias carregadas). Para gerar um campo elétrico de alta intensidade no alimento, é preciso passar através dele um elevado fluxo de corrente em um espaço de tempo reduzido. O intervalo entre dois pulsos deve ser muito maior que a duração de tais pulsos, de forma que a geração dos pulsos envolva a descarga rápida de energia acumulada lentamente em um capacitor (ZHANG et al., 1994).

O CEPAI possui uma série de componentes, incluindo a fonte de força, um banco de capacitores, um interruptor, a câmara de tratamento, sondas de voltagem, temperatura e corrente e equipamento de envase asséptico. A fonte de força carrega os capacitores, que acumulam a energia que é descarregada, pelo acionamento do interruptor, na

câmara onde está contido o alimento (RASO et al., 2000).

A metodologia pode ainda ser utilizada na sua versão de campo elétrico pulsado de baixa e moderada intensidade (CEPMI), onde se utiliza campo voltagens inferiores a 5 kV.cm⁻¹. Nesta versão, estão sendo investigado o incremento na extração de compostos intracelulares de tecidos vegetais para a melhoria na obtenção de óleos, sucos e compostos específicos (CORRALES et al., 2008; LÓPEZ et al., 2008, 2009; SCHILLIG et al., 2008); o aumento na velocidade de desidratação (GACHOVSKA et al., 2009), e a produção de metabólitos secundários mediante a indução de estresses em cultivos celulares vegetais (YE et al., 2004) e, mais recentemente, em produtos vegetais (BINOTI, 2012a; GÓMEZ-GALINDO et al., 2009).

2.2.1 Efeito do campo elétrico pulsado de alta intensidade sobre os alimentos

A tecnologia possibilita a inativação de microrganismos e enzimas, ao mesmo tempo em que se mantém ao máximo o sabor, a cor, a textura, as vitaminas, nutrientes e componentes funcionais termolábeis dos alimentos (ELEZ-MARTÍNEZ; MARTÍN-BELLOSO, 2007). Muitos estudos têm relatado a vantagem da aplicação de CEPAI para a conservação de micronutrientes dos alimentos, pois se espera que as vitaminas termolábeis sejam conservadas, já que o pulso elétrico não constitui tratamento térmico (BINOTI et al., 2012b). Em suco de laranja a retenção de compostos fenólicos foi maior quando o produto foi tratado com CEPAI em comparação a metodologia tradicional de pasteurização (AGCAM; AKYILDIZ; EVRENDILEK, 2014). Não se sabe ao certo o efeito dessa tecnologia sobre os componentes dos alimentos, porém muitos estudos relatam a manutenção das características nutricionais dos produtos tratados com CEPAI.

Outra vantagem da tecnologia é provocar mínima ou nenhuma alteração nas características físico-químicas dos alimentos. O pH, oBrix, condutividade elétrica, viscosidade, índice de escurecimento não enzimático e hidroximetil-furfural (HMF) de

suco de frutas cítricas (grapefruit, limão, laranja, tangerina) tratados com CEPAI, não se alteraram significativamente ($P < 0,05$) (CSERHALMI et al., 2006).

2.2.2 Efeito do campo elétrico pulsado de alta intensidade sobre os microrganismos

A aplicação de um campo elétrico externo pode induzir a um potencial crítico através da membrana celular, o que leva ao aumento na permeabilidade, ao colapso elétrico e a mudanças estruturais locais na mesma (ANGERSBACH et al., 2000). A destruição microbiana por CEPAI depende de muitos fatores que são críticos para o processo. Com fins de pasteurização, a intensidade do campo elétrico depende principalmente do tipo de microrganismo ou enzima que se deseja inativar. Contudo, outros fatores são importantes na inativação: temperatura, pH e força iônica do alimento, duração do campo elétrico e fase de crescimento microbiano (AZERÊDO; OLIVEIRA; FARO, 2008; OTUNOLA et al., 2008).

Com base na teoria da ruptura dielétrica, o campo elétrico externo induz uma diferença de potencial elétrico através da membrana celular, denominado potencial transmembrana. Este, ao atingir um valor crítico, induz a formação de poros na membrana celular, num processo denominado eletroporação. A eletroporação é o fenômeno segundo o qual uma célula exposta a um campo elétrico de alta voltagem sofre desestabilização da bicamada lipídica e das proteínas de sua membrana, levando à formação de poros na membrana, consequência de sua danificação parcial ou total. Uma grande consequência da eletroporação é o fenômeno denominado eletropermeabilização, que causa um aumento da permeabilidade (ou condutividade) da membrana, resultando algumas vezes em sua ruptura (WOUTERS et al., 2001). Este aumento de permeabilidade pode ser reversível ou irreversível, dependendo do grau de alterações organizacionais na membrana. A permeabilização pode ser reversível, quando o campo elétrico aplicado é baixo (1 a 10 kV/cm) e o tempo de aplicação é curto, até 10 ms. Quando o tratamento cessa, a membrana volta a seu estado inicial. Ultrapassando estas condições, o dano à membrana torna-se irreversível. A instabilidade produzida na membrana pela passagem de um campo elétrico deve-se a um efeito compressivo de forças opostas. A bicamada da membrana celular possui uma baixa constante dielétrica quando comparada com a da água. A passagem do campo elétrico aumenta o potencial da membrana, causando acumulação de cargas opostas dentro e fora da membrana. Estas cargas opostas tendem a se atrair, gerando uma compressão (eletrocompressão) sobre a membrana. Por outro lado, surgem forças viscoelásticas restauradoras opondo-se à eletrocompressão. Se estas forças são

menores que as forças compressoras, a espessura da membrana diminui até haver a ruptura local da membrana (AZERÉDO; OLIVEIRA; FARO, 2008).

Muitas hipóteses têm sido estabelecidas para tentar elucidar se a iniciação dos poros se dá na parte protéica ou na parte lipídica da bicamada da membrana. Angersbach e outros (2000) afirmam que este processo, devido à imediata formação de canais condutivos na membrana e à rápida formação de uma membrana de alta condutância, deve ocorrer na parte lipídica da membrana, justificando a afirmação com o argumento de que o aumento de comprimento dos poros na parte lipídica da membrana ocorre na faixa de microssegundos, enquanto que a desnaturação protéica (por efeito Joule ou modificação elétrica), que é apresentada como outra alternativa, ocorre na faixa de milissegundos a segundos (VEGA-MERCADO et al., 1997).

Quanto maior o tempo de exposição e a intensidade do campo elétrico acima do valor limite, mais áreas da membrana estarão sujeitas à ruptura. Se o tamanho e o número de poros se torna muito grande em relação à superfície da membrana, ocorre o rompimento e a destruição física da célula.

O tratamento com CEPAI é ineficaz para a destruição de esporos de bactérias (WAN et al., 2009). Esses parecem resistir bem à ação de campo elétrico pulsado de alta intensidade, por serem menores e mais circulares, e isso confere certa proteção, sendo mais difícil destruí-los do que bactérias, leveduras e fungos filamentosos; embora sejam mais sensíveis após sua germinação. Os pulsos elétricos não induzem a germinação, porém pode ser induzida por outros meios, de forma que os pulsos elétricos possam ser usados em seguida para destruir as células recém-germinadas (TEIXEIRA, 2008).

Vários são os fatores influem no resultado letal de CEP sobre microrganismos. Estes fatores são ligados ao processo (tempo, intensidade de campo, temperatura, número de pulsos), às características do produto e às características microbianas (BINOTTI et al., 2012b)

2.2.3 Efeito de campo elétrico pulsado de alta intensidade sobre enzimas

Os mecanismos propostos para a inativação enzimática disponíveis na literatura variam de acordo com a enzima, mas tendo sempre em comum a desnaturação e a perda da estrutura da enzima. Vega-Mercado e outros (1995), sugeriram que a inativação de plasmina de soro bovino se dá por mudanças conformacionais e de cargas causadas pela ação de CEPAI, visto que tal enzima é de natureza eletrostática. Yeom e outros (1999), atribuíram a inativação de

papaína tratada por CEPAI à perda da estrutura em α -hélice característica de tal enzima, citando que a oxidação do centro ativo da enzima, formado por um resíduo de cisteína não era a principal causa da inativação. Giner e outros (2000) procuraram associar a inativação enzimática a um modelo cinético de reação de primeira ordem, afirmando que tal reação é proporcional à força de campo aplicada e ao número de pulsos, desde que se mantenham os demais parâmetros constantes.

Em geral, a combinação de barreiras, tais como pH, força iônica, compostos antimicrobianos e outros com o tratamento por CEPAI mostram-se como meios efetivos no aumento da inativação microbiana. Deste modo, pode se pensar em aplicar a CEPAI não como uma tecnologia isolada, mas buscar combinações com outros fatores antimicrobianos visando alcançar maiores reduções, mantendo a qualidade sensorial e nutritiva dos alimentos (ARONSSON; RHONEN, 2001)

O CEPAI pode também ter suas características potencializadas quando combinados com outros métodos. Aronsson e Rhonen (2001), estudaram a influência do pH, da atividade de água e da temperatura na inativação de *Escherichia coli* e *Saccharomyces cerevisiae* por CEPAI, utilizando a faixa de pH de 4 a 7, a_w de 1 a 0,94 e temperaturas de entrada de 10 a 30°C, com a máxima temperatura de saída em 44°C. Os autores observaram um efeito sinérgico entre baixo pH, temperaturas elevadas (nos padrões do experimento) e CEPAI, citando que a diminuição do pH de 7 para 4 leva a uma redução de 4 ciclos logarítmicos adicionais para *E. coli*, enquanto que o efeito sobre *S. cerevisiae* não foi tão pronunciado.

3 DISCUSSÃO

A tecnologia de alta pressão é um método não-térmico de conservação de alimentos muito promissor, além de ser utilizado para melhorar as propriedades reológicas e funcionais dos alimentos. O aspecto mais importante deste processo é a destruição de microrganismos e inativação de enzimas, com máxima retenção dos nutrientes e dos componentes responsáveis pelo sabor, cor e odor, o que confere aos produtos submetidos o APH uma melhor qualidade, satisfazendo as exigências do consumidor que busca alimentos de aspecto mais próximo ao natural e mais saudáveis.

A aplicação de campo elétrico pulsado de alta intensidade para a conservação de alimentos tem se mostrado uma promissora alternativa aos métodos térmicos tradicionais. Embora não existam no

momento produtos processados por campos elétricos pulsados no mercado, o grande número de trabalhos relacionados a tal tecnologia e a qualidade dos produtos processados não-termicamente faz crer que em breve o mercado experimentará o advento desta e de outras tecnologias não térmicas para alimentos.

Ambas as tecnologias representam uma visão mais saudável sobre a conservação de alimentos, uma vez que, além de propiciar o aumento da vida de prateleira dos produtos por destruir microrganismos e inativar enzimas, preservam as características naturais, e dispensam o uso que qualquer aditivo químico conservante.

Food preservation: a healthier vision

ABSTRACT

Consumers are increasingly aware of the importance of healthy eating and seek foods that meet this need and they are still safe. This study aimed to review the literature through current articles found in the Scielo, Portal periodicos Capes, Science Direct data on two non-thermal preservation methods: high hydrostatic pressure and pulsed electric field. Both have the characteristics to remove microorganisms and inactivate enzymes at the same time, causing minimal or no change in the nutritional value of the foods.

Keywords: Food. Food Preservation. Enzymes.

REFERÊNCIAS

- AGCAM, E.; AKYILDIZ, A.; EVRENDILEK, A. G. Comparison of phenolic compounds of orange juice processed by pulsed electric fields (PEF) and conventional thermal pasteurization. *Food Chemistry*, v. 143, p. 354-361, 2014.
- ANGERSBACH, A.; HEINZ, V.; KNORR, D. Effect of Pulsed Electric Fields on Cell Membranes in Real Food Systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 1, no. 2, p. 135-149, 2000.
- AZERÊDO, G. A.; OLIVEIRA, F. L. N.; FARO, Z. P. Pulsos elétricos na conservação de alimentos: fatores críticos na inativação microbiana e efeitos sobre os constituintes alimentares. *Boletim do CEPPA, Curitiba*, v. 26, n. 2, p. 171-178, 2008.
- BALASUBRAMANIAM, V. M.; FARKAS, D. High-pressure food processing. *Food Science and Technology International*, v. 14, no. 5, p. 413-418, 2008.
- BINOTI, L. M. Aplicação de campo elétrico pulsado de moderada intensidade na qualidade funcional de abóbora. 209 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos), Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012a.
- BINOTI, L. M. et al. Pulsed electric field. *Ciência Rural, Santa Maria*, v. 42, n. 5, p. 934-941, 2012b.
- CAMPOS, F. P.; DOSUALDO, G. L.; CRISTIANINI, M. Utilização da Tecnologia de Alta Pressão no processamento de Alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology, Campinas*, v. 6, n. 2, p. 351-357, 2003.
- CASADEI, M. A. et al. Role of membrane fluidity in pressure resistance of *Escherichia coli* NCTC Z8164. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 68, no. 12, p. 5965-5972, 2002.
- CHEFTEL, J. C. (1995). Review: high-pressure, microbial inactivation and food preservation. In: MANÃS, P.; PAGÁN, R. A review: Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, v. 98, no. 6, p. 1387-1399, 2005.
- CORRALES, M. et al. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative of Food Science Emerging Technology*, v. 9, no. 1, p. 85-91, 2008.
- CSERHALMI, Z. et al. Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 7, no. 1, p. 49-54, 2006.

4 CONCLUSÃO

Os consumidores cada vez são mais exigentes com a qualidade dos produtos que ingerem e mais conscientes sobre a relação entre alimentação e saúde. Primam que os produtos alimentícios tenham uma alta qualidade nutritiva e sensorial, e ainda sejam seguros. Portanto, o desenvolvimento de tecnologias não térmicas que aumentem as propriedades benéficas dos produtos e atendam a todas as demandas dos consumidores, resultaria na obtenção de produtos de maior valor agregado o que despertariam novas expectativas para a agricultura, para a indústria de alimentos e para o consumidor preocupado com a saúde.

- DELIZA, R. et al. Application of high pressure technology in the fruit juice processing: benefits perceived by consumers. *Journal of Food Engineering*, v. 67, no. 1, p. 241-246, 2005.
- FERNANDES, P. M. B.; FARINA, M.; KURTENBACH, E. Effect of hydrostatic pressure on the morphology and ultrastructure of wild-type and trehalose synthase mutant cells of *Saccharomyces cerevisiae*. *Letters In Applied Microbiology*, Inglaterra, v. 32, no. 1, p. 42-46, 2001.
- FERNANDES, P. M. B. et al. Genomic expression pattern in *Saccharomyces cerevisiae* cells in response to high hydrostatic pressure. *Febs Letters*, v. 556, no. 1, p. 153-160, 2004.
- FERNANDES, P. M. B. How does yeast respond to pressure? *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, São Paulo, v. 38, n. 8, p. 1239-1245, 2005.
- GACHOVSKA, T. K. et al. Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration. *Journal of Science Food and Agriculture*, v. 89, no. 14, p. 2372-2376, 2009.
- GINER, J. et al. Inhibition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pectin Methylsterase by pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 1, no. 1, p. 57-67, 2000.
- GÓMEZ-GALINDO, F. et al. Metabolomic evaluation of pulsed electric field-induced stress on potato tissue. *Planta*, v. 230, no. 3, p. 469 - 479, 2009.
- KNORR, D. Effects of high hydrostatic pressure processes on food safety and quality. *Food Technology*, v. 47, no. 6, p. 156-161, 1993.
- LÓPEZ, N. et al. Enhancement of the extraction of betanine from red beetroot by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, v. 90, no. 1, p. 60-66, 2009.
- MANÃS, P.; MACKEY, B. M. Morphological and physiological changes induced by high hydrostatic pressure in exponential- and stationary-phase cells of *Escherichia coli*: relationship with cell death. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 70, no. 3, p. 1545-1554, 2004.
- MANÃS, P.; PAGÁN, R. A REVIEW: Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, v. 98, no. 6, p. 1387-1399, 2005.
- MARX, G.; MOODY, A.; BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. A comparative study on the structure of *Saccharomyces cerevisiae* under nonthermal technologies: high hydrostatic pressure, pulsed electric fields and thermo-sonication. *International Journal of Food Microbiology*, v. 151, no. 3, p. 327-337, 2011.
- MOLINA-HOPFNER, A. et al. Protective effect of sucrose and sodium chloride for *Lactococcus lactis* during sublethal and lethal high-pressure treatments. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 70, no. 4, p. 2013-2020, 2004.
- NASCIMENTO, K. O.; SILVA, C. P.; BARBOSA, M. I. M. J. Alta pressão hidrostática: tecnologia empregada no processamento de alimentos. *Acta Tecnológica*, v. 8, n. 1, p. 63-70, 2013.
- OTUNOLA, A. et al. Effectiveness of Pulsed Electric Fields in Controlling Microbial Growth in Milk. *International Journal of Food Engineering*, v. 4, p. 10-14, 2008.
- PAGÁN, R.; MACKEY, B. M. Relationship between membrane damage and cell death in pressure-treated *Escherichia coli* cells: differences between exponential and stationary phase cells and variation among strains. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 66, no. 7, p. 2829-2834, 2000.
- POLYDERA, A. C.; NIKOLAUS, G. S.; PETROS, S. T. The Effect of Storage on the Antioxidant Activity of Reconstituted Orange Juice Which Had Been pasteurized by High Pressure or Heat. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 39, p. 783-791, 2004.
- POTHAKAMURY, U. R. et al. The pressure builds for better food processing. *Chemical Engineering Progress*, v. 91, no. 3, p.43-53, 1995.
- RAMOS, A. M. et al. Aplicação de Campos Elétricos pulsados de alta intensidade na Conservação de Alimentos. *Ceres, Viçosa*, v. 53; n. 308; p. 425-438, 2006.
- RASO, J. et al. Predicting Inactivation of *Salmonella* Senftenberg by Pulsed Electric Fields. *Innovative Food Science Emerging Technology*, v. 1, no. 1, p 21-29. 2000.
- ROSENTHAL, A. et al. Polpa de Maracujá Processada por Alta Pressão Hidrostática. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Comunicado técnico (ISSN 0103-5231), Rio de Janeiro, v. 91, n. 1, p. 1-4, 2005.
- SANGRONIS, E. et al. La alta presión hidrostática: una alternativa en el procesamiento no térmico de los Alimentos. *Alimentaria, Madrid*, no. 283, p. 33-43, 1997.
- SCHILLIG, S. Et al. Comparative study of juice production by pulsed electric field treatment and enzymatic maceration of apple mash. *Europe Food Research and Technology*, v. 226, no. 6, p. 1389-1398, 2008.
- SEYDERHELM, I.; BOGUSLAWSKI, S.; KNOOR, D. Pressure induced inactivation of selected food enzymes. *Journal of Food Science*, v. 61, no.2, p. 308-310, 1996.
- SHINAGAWA, F. B.; ROSENTHAL, R. D.; ZARUR, A. M. A. Hydrostatic high pressure in sensory attributes of papaya nectar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1898-1904, 2013.
- SMELT, J. P. P. Recent advances in microbiology of high pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*, v. 9, no. 4, p. 152-158, 1998.

- SOLIVA-FORTUNY, R. et al. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 20, no. 11, p. 44-556, 2009.
- SOUSA, L. C. F. S. et al. Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 8, n. 1, p. 19-27, 2012.
- TEIXEIRA, L. J. Q. et al. Inactivation of oxidative enzymes by high-intensity pulsed electric field for retention of color in carrot juice. *Food Bioprocess Technology*, v. 1, no. 4, p. 364-373, 2008.
- TORRES, A. J.; VELAZQUEZ, G. Comercial opportunities and Research Challenges in the High Pressure Processing of Foods. *Journal of food Engineering*, v. 67, no. 1, p. 95-112, 2005.
- VEGA-MERCADO, H. et al. Nonthermal Preservation of Foods: Pulsed Electric Fields. *Trends in Food Science & Technology*, v. 8, no. 5, p. 151-157, 1997.
- WAN, J. et al. Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety e pulsed electric field and low-temperature plasma. *Trends in Food Science & Technology*, v. 20, no. 9, p. 414-424, 2009.
- WHITE, D.; DRUMMOND, J. T.; FUQUA, C. *The physiology and biochemistry of prokaryotes*. New York: Oxford University Press, 1995.
- WOUTERS, P.; ALVAREZ, I.; RASO, J. Critical Factors Determining Inactivation Kinetics by Pulsed Electric Field Food Processing. *Trends in Food Science & Technology*, v. 12, no. 3, p. 112-121, 2001.
- YE, H. et al. Pulsed electric field stimulates plant secondary metabolism in suspension cultures of *Taxus chinensis*. *Biotechnology Bioengineering*, v. 88, no. 6, p. 788- 795, 2004.
- YEOM, H. W.; ZHANG, Q. H.; DUNNE, C. P. Inactivation of Papain by Pulsed Electric Fields in a Continuous System. *Food Chemistry*, v. 67, no. 1, p. 53-59, 1999.
- ZHANG, Q.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; SWANSON, B. G. Engennering Aspects of PEF Pasteurization. *Journal of Food Engeneering*, v.25, no. 2, p.261-268, 1994.

Enviado em 22/01/2015

Aprovado em 05/10/2015