

Gabriella Behrmann Bento Almeida¹ | Anísio Tavares Cordeiro Neto² | Danila Santana da Silva³ | Lorena de Oliveira Matos⁴
Rebeca Nunes da Silva⁵ | Thalyta Pereira de Souza⁶ | Isabella Santos Araújo⁷

Resumo: Este artigo de revisão trata de uma análise crítica e reflexiva de literatura, tendo como abordagem principal, o desenvolvimento de biofilmes em embalagens de produtos industrializados, destacando os biodegradáveis. Foram utilizados livros, revistas e artigos científicos, além de discussões entre discentes do Curso de Nutrição, da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia. A reciclagem é uma das formas que mais se insere no contexto social, e particularmente, nas embalagens de produtos industrializados. Muitas indústrias têm buscado utilizar materiais biodegradáveis para tentar minimizar os efeitos negativos do uso de produtos alimentícios embalados. Aliado a esse fator, e a manipulação incorreta do material de armazenamento, muitos alimentos podem ser contaminados por micro-organismos patogênicos desenvolvidos de biofilmes. Diante disso, o principal objetivo foi caracterizar biofilmes, assim como sua organização, morfologia e fisiologia. Além de identificar os malefícios que os biofilmes podem causar nas embalagens dos produtos industrializados novos e recicláveis biodegradáveis, fornecer medidas profiláticas no uso de embalagens e recicláveis e destacar a higienização como fator primordial no manuseio de alimentos como ferramenta de controle.

Palavras-chave: Biofilme, biodegradável, embalagem, industrializados, higienização.

Abstract : This review article is a critical analysis and reflective literature, having as main approach, the development of biofilms in industrial products, highlighting the biodegradable. Used books, magazines, and scientific articles, as well as discussions between students of the Course of Nutrition, the Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia. Recycling is one of the ways

¹ Graduanda do II Semestre do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, e-mail: gabibbento@gmail.com

² Graduando do II Semestre do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, email: anisionetinho@hotmail.com

³ Graduanda do II Semestre do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, e-mail: danila.casaesportiva@hotmail.com

⁴ Graduanda do II Semestre do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, e-mail: lorena.rangel2009@hotmail.com

⁵ Graduanda do II Semestre do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, e-mail: rebecanunesfsa@gmail.com

⁶ Graduanda do II Semestre do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, e-mail: tali.souza@hotmail.com

⁷ Doutora em Biotecnologia UEFS-FIOCRUZ-BA, Professora do Curso de Nutrição da Faculdade Nobre, Feira de Santana, Bahia, email: araujo_isabella@yahoo.com.br

that more fits into the social context, and particularly in the packaging of industrial products. Many industries have sought to use biodegradable materials to try to minimize the negative effects of the use of packaged food products. Allied to this factor, and the incorrect handling of the storage material, many foods may be contaminated by pathogenic microorganisms developed in biofilms. Given this, the main objective was to characterize biofilms, as well as its characteristics, organization, morphology and physiology. In addition to identifying the harm that Biofilms can cause in the packaging of industrial products new biodegradable and recyclable, provide prophylactic measures in the use of recyclable packaging and highlight the sanitizing as primary factor in the handling of food as a tool of control.

Keywords: Biofilm, biodegradable, packaging, industrial, hygiene.

Introdução

A preocupação com a preservação do meio ambiente tem levado diversos profissionais a se preocuparem mais com a poluição ambiental. Diante disso, a reciclagem é uma das formas que se insere no contexto social, e particularmente, nas embalagens de produtos industrializados. Muitas indústrias têm buscado utilizar materiais biodegradáveis para tentar minimizar os efeitos negativos do uso de produtos alimentícios embalados. Aliado a esse fator e à manipulação incorreta do material de armazenamento, muitos alimentos podem ser contaminados por micro-organismos patogênicos desenvolvidos em biofilmes.

De acordo com Tortora, Funke e Case (2012), na natureza, os micro-organismos podem existir como células separadas que flutuam ou nadam independentemente em um líquido, ou estar atados uns aos outros e/ou a uma superfície em geral sólida. Esse último comportamento é chamado de biofilme, uma agregação complexa de micro-organismos. O lodo cobrindo uma rocha em um lago é um biofilme. Os biofilmes podem ser benéficos. Eles são capazes de proteger as membranas mucosas da ação de micro-organismos nocivos, e os biofilmes em lagos são um alimento

importante para os animais aquáticos. Contudo, eles também podem ser nocivos. Os biofilmes podem entupir tubulações e, quando crescem sobre implantes médicos como as próteses e os cateteres, têm capacidade de causar infecções como as endocardites. As bactérias nos biofilmes frequentemente são resistentes aos antibióticos, pois os biofilmes oferecem uma barreira protetora contra a ação dessas substâncias.

É fundamental aprofundar o conhecimento do que promove a adesão de patogênicos alimentares. De acordo Teixeira et al (2015), a adesão de micro-organismos a superfícies de processamento de alimentos é um processo rápido (geralmente ocorre entre 5 a 30 segundos), pelo que, frequentemente, a limpeza e desinfecção dessas superfícies não são suficientes para impedir que essa adesão ocorra. Na fase inicial do processo são determinantes as propriedades superficiais (carga e hidrofobicidade) e a morfologia (rugosidade e porosidade) dos materiais. No entanto, outros fatores como a disponibilidade de nutrientes no meio envolvente, o pH, temperatura e concentração iônica do meio, a fase de crescimento das células bacterianas, a presença de estruturas celulares, como as substâncias poliméricas extracelulares e os flagelos influenciam também o processo de adesão.

Por isso, a procura de novos métodos de desinfecção, para controle dos biofilmes, continua a ser um assunto relevante nos nossos dias. Embora os métodos tradicionais de desinfecção sejam amplamente usados pela indústria alimentar, eles estão associados a vários aspectos negativos, incluindo a promoção do fenômeno de resistência cruzada a outros agentes antimicrobianos. (TEIXEIRA et al, 2015)

Ultimamente, um extenso número de trabalhos tem reportado a produção e caracterização dos biofilmes e de suas propriedades, enquanto outros tem estudado as atividades antimicrobianas dos compostos isoladamente, sendo que, nesta última década, o uso de agentes antimicrobianos incorporados como aditivos aos filmes biodegradáveis tem ganhado bastante destaque. (BITTANTE, BOVO e OLIVEIRA, 2012)

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar biofilmes, assim como suas características, organização, morfologia e fisiologia. Além de identificar os malefícios que os biofilmes podem causar nas embalagens dos

produtos industrializados novos e recicláveis biodegradáveis, fornecer medidas profiláticas no uso de embalagens e recicláveis e destacar a higienização como fator primordial no manuseio de alimentos como ferramenta de controle.

Biofilmes: definição e importância

Na natureza, os micro-organismos raramente vivem em colônias isoladas de uma única espécie, como vemos no laboratório. Mais tipicamente, eles vivem em comunidades chamadas de biofilmes. Esse fato não foi comprovado até o desenvolvimento da microscopia confocal, o que permitiu que a estrutura tridimensional dos biofilmes fosse visualizada. (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)

Um biofilme começa quando algumas células pioneiras usam ganchos químicos especializados para aderir a uma superfície. Estes pioneiros ajudam a tornar uma superfície de destino mais atraente para as células subsequentes, que eventualmente maduro em um filme complexo, são estruturados. (MONROE, 2007)

Os biofilmes residem em uma matriz feita essencialmente de polissacarídeos, mas contendo também DNA e proteínas, com frequência chamada de limo. Um biofilme também pode ser considerado um hidrogel, um polímero complexo contendo uma quantidade de água que corresponde a várias vezes seu peso seco. Uma comunicação química entre as células ou quorum sensing, permite às bactérias coordenarem sua atividade e se agrupar em comunidades que fornecem benefícios não muito diferentes daqueles de organismos multicelulares. Portanto, os biofilmes não são somente camadas limosas bacterianas, mas sistemas biológicos; as bactérias são organizadas em uma comunidade funcional coordenada. (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)

Um biofilme geralmente começa a se formar quando uma bactéria livre nadadora (planctônica) se fixa em uma superfície. Se essa bactéria crescesse em uma monocamada uniformemente fina, esta ficaria superlotada, os nutrientes não seriam disponíveis na parte mais profunda e resíduos tóxicos se acumulariam. Os micro-organismos nas comunidades de biofilme algumas

vezes evitam esses problemas formando estruturas em forma de pilares (Figura 1) com canais entre eles através dos quais a água pode introduzir nutrientes e retirar resíduos. Isso constitui um sistema circulatório primitivo. Micro-organismos individuais e agregados de limo eventualmente deixam o biofilme e se movem para um novo local, para onde o biofilme vai se estender. Esse biofilme geralmente é composto de uma camada superficial de cerca de 10 μm de espessura, com pilares que se elevam até 200 μm acima dela. (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)



Figura 01: Formação de biofilmes em forma de pilares (Fonte: TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)

O primeiro passo na formação do biofilme é a adesão das bactérias planctônicas, ou seja, de vida livre a uma superfície e ocorre de forma aleatória. Esta primeira adesão é reversível e é mantida por interações físico-químicas não específicas constituindo o alicerce para o crescimento do biofilme. A segunda fase da adesão consiste na transição do estágio reversível para o irreversível. As bactérias passam a secretar substâncias que serão responsáveis pela manutenção da adesão e da camada que envolve o biofilme. Nesta fase há o início da formação de micro colônias e do desenvolvimento da arquitetura do biofilme maduro. Os biofilmes maduros apresentam estrutura semelhante a cogumelos, que são envoltos por diversas substâncias, principalmente açúcares e rodeados por poros e canais de água que funcionam como um sistema de troca de nutrientes, oxigênio e

metabólitos que precisam ser secretados para fora do biofilme. A quinta e última fase da formação ocorre quando o ambiente não é mais favorável à sua manutenção, e consiste no descolamento do biofilme maduro em forma de agregados celulares ou células planctônicas. Depois de desprendidas, as bactérias livres podem colonizar novos ambientes, reiniciando a formação de novos biofilmes. (HIGA, 2016)

A troca de nutrientes facilitada por esta arquitetura permite que comunidades de biofilme desenvolvam espessura considerável e complexidade, mantendo as células individuais (alguns dos quais são fisiologicamente especializados) em situações de nutrientes ideais em vários locais dentro do biofilme. (STOODLEY et al, 2002)

Os micro-organismos nos biofilmes podem trabalhar em cooperação para desenvolver tarefas complexas. Por exemplo, o sistema digestório dos animais ruminantes, como o gado, requer muitas espécies diferentes de micro-organismos para quebrar a celulose. Os micro-organismos no sistema digestório dos ruminantes estão localizados essencialmente em comunidades de biofilmes. Estes também são elementos essenciais para o funcionamento adequado dos sistemas de tratamento de resíduos. Contudo, eles podem ser um problema em canos e tubulações, onde seu acúmulo impede a circulação. (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)

O modo de crescimento dos biofilmes é ideal quando comunidades bacterianas devem colonizar insolúveis substratos de nutrientes (por exemplo, celulose), e é especialmente útil quando vários estágios dos processos digestivos envolvem muitas espécies diferentes, cujas células podem ser justapostas dentro de uma matriz comum. (STOODLEY et al, 2002)

Biofilmes: Indústria de alimentos

Uma abordagem para prevenir a formação de biofilme é a aplicação de antimicrobianos sobre as superfícies nas quais os biofilmes podem se formar. Como os sinais químicos que permitem o quorum sensing são essenciais para a formação de biofilme, pesquisas estão sendo realizadas para esclarecer o funcionamento desses sinais e talvez os bloquear. Outra abordagem envolve

a descoberta de que a lactoferrina, que é abundante em muitas secreções humanas, pode inibir a formação de biofilme. Essa substância fixa o ferro, particularmente nas pseudomonadas responsáveis pelos biofilmes da fibrose cística, a causa da patologia dessa doença hereditária. A falta de ferro inibe a mobilidade superficial, importante para a agregação das bactérias nos biofilmes. (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)

A maioria dos métodos laboratoriais na microbiologia atual utiliza organismos cultivados no seu modo planctônico. Contudo, os microbiologistas acreditam que o foco das pesquisas com micro-organismos será a relação de vida entre eles, e isso será considerado também na pesquisa industrial e médica. (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012)

Biofilmes são um foco de contaminação dentro da indústria de alimentos, contribuindo para perdas econômicas e oferecendo riscos à saúde dos consumidores. A relevância do tema torna-se ainda mais evidente quando se observa o crescimento do número de trabalhos publicados na área. (MARTIN et al, 2014)

Nesse contexto, o tipo de superfície empregado na indústria reflete diretamente no potencial de formação de biofilmes. Assim, o material que compõe a superfície de contato (aço inoxidável, alumínio, madeira, plástico), bem como seu estado de conservação, podem favorecer o processo. Uma análise mais apurada de superfícies demonstra uma grande quantidade de ranhuras e imperfeições, pontos críticos para o início do estabelecimento de biofilmes na indústria. (MARTIN et al, 2014)

A fixação de células livres provenientes do meio líquido nas superfícies sólidas ocorre em seguida, poucos minutos após o transporte e adsorção de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas no meio aquoso. (OLIVEIRA, BRUGNERA e PICCOLI, 2010)

No entanto, de acordo com Oliveira et al (2010), há uma elevada probabilidade de que as células aderidas irreversivelmente permaneçam mesmo após a higienização, sendo essa uma das principais razões para a formação de biofilmes em superfícies que entram em contato com alimentos.

Ravishankar et al (2010), estudando a ocorrência de contaminação cruzada, demonstraram que *Salmonella enterica* serovar Newport, presente em carne de frango, foi capaz de contaminar a faca de aço inoxidável e a

tabua de corte de polietileno, sendo, em seguida, transferida para folhas de alface. A taxa de transferência da bactéria foi maior quando nenhum tratamento de higienização foi aplicado aos utensílios.

Para prevenir e/ou evitar a adesão é assim fundamental a seleção dos materiais adequados bem como o desenvolvimento de produtos e protocolos de desinfecção mais eficientes. A principal estratégia para se obter um material que impede, ou pelo menos minimiza, a adesão bacteriana, consiste na modificação das suas propriedades superficiais. Os materiais podem ser cobertos ou impregnados com agentes antimicrobianos ou alterada a sua hidrofobicidade e /ou rugosidade. A hidrofobicidade de uma superfície traduz a sua afinidade/repulsão em relação à água, e sabe-se que o processo de adesão é facilitado por essa característica das superfícies que interagem. Por seu lado, a rugosidade está relacionada com a topografia do material podendo aumentar/reduzir a área superficial de contato e potenciar/restringir a existência de locais protegidos favoráveis à colonização microbiana. (TEIXEIRA et al, 2015)

Alguns sanitizantes químicos podem ter sua ação reduzida ou mesmo eliminada na presença de compostos orgânicos, como proteínas, polissacarídeos e lipídeos. Um exemplo é o hipoclorito de sódio (NAC), muito utilizado em indústrias de alimentos, especialmente em laticínios. (OLIVEIRA, BRUGNERA e PICCOLI, 2010)

Com a evolução da sociedade, aumentou a necessidade do abastecimento e fornecimento de alimentos para este enorme contingente de pessoas que habita nosso planeta. Com a globalização, culturas distantes se aproximaram e trocas de experiências alimentares foram feitas com mais intensidade. Coube à ciência e à tecnologia se aproximar para desenvolverem juntas a produção de alimentos industrializados e permitir, com uma logística adequada, a produção industrial de alimentos e bebidas padronizados e disponíveis o ano inteiro. (ALMEIDA, 2013)

No que se refere aos aspectos microbiológicos, sabe-se que, caso não haja implantação de sistemas de qualidade nas indústrias alimentícias e aplicação efetiva de agentes de limpeza e sanitizantes, microrganismos podem não ser completamente removidos das superfícies e instalações que entram em contato com os alimentos. A retenção e acúmulo de resíduos e

microrganismos em tais ambientes contribuirão para o desenvolvimento de biofilmes. A adesão a superfícies pode ser realizada por microrganismos deteriorantes ou patogênicos, resultando em sérios problemas de saúde pública ou de ordem econômica (OLIVEIRA, BRUGNERA e PICCOLI, 2010)

Um aspecto importante relacionado com a desinfecção de superfícies é a aquisição de resistência bacteriana a agentes desinfetantes e, mais preocupante ainda, a possível relação entre a utilização de biocidas químicos e a emergência de resistência a antibióticos. A suscetibilidade e resistência de *S. enterica* a diferentes tipos de antimicrobianos têm sido vastamente analisadas, mas o efeito de desinfetantes químicos sobre células de biofilme que sobrevivem à ação destes compostos é ainda pouco estudada (TEIXEIRA et al, 2015).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da portaria nº 15, de 23 de Agosto de 1988, define sanitizantes ou desinfetantes como formulações que têm na sua composição substâncias microbicidas que apresentam efeito letal sobre microrganismos não esporulados (BRASIL, 1988).

Uma das maiores preocupações da indústria de alimentos, no que diz respeito à qualidade microbiológica de seus produtos, consiste na redução de perdas decorrentes da deterioração bacteriana, bem como dos riscos à saúde dos consumidores; trata-se de atender à crescente demanda oferecendo produtos inócuos e economicamente viáveis (MARTIN et al, 2014).

De maneira geral, para que as recomendações de qualidade microbiológica sejam alcançadas, a adoção de efetivos programas de limpeza e sanitização, bem como a utilização de matéria-prima de qualidade e a adoção de práticas higiênico-sanitárias por parte dos colaboradores, são fundamentais. Para tanto, a aplicação de ferramentas de controle de qualidade é imprescindível. As Boas Práticas de Fabricação (BPF) e os Procedimentos Padrão de Higiene Operacional (PPHO), que são pré-requisitos do sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), abordam, dentre outros, os princípios básicos de higiene industrial, como: higiene de instalações, de equipamentos e de utensílios utilizados no preparo de alimentos. As BPF e os PPHO são os requisitos mínimos para a obtenção de alimentos seguros e devem ser utilizadas por todas as indústrias

alimentícias que desejam produzir alimentos com esta característica (OLIVEIRA, BRUGNERA e PICCOLI, 2010).

No entanto, a produção de alimentos em um ritmo cada vez mais intenso, bem como a automação de grande parte dos processos, tem levado a um maior risco de desenvolvimento de biofilmes na planta de processamento. Estes causam corrosão de superfícies, perdas de rendimento de processos térmicos, além de aumento da resistência bacteriana a sanificantes, demandando uma constante avaliação dos métodos de higienização empregados e seus respectivos protocolos (MARTIN et al, 2014).

Os bacteriófagos (fagos) constituem uma opção promissora para o controle de agentes patogênicos uma vez que são predadores naturais de bactérias, ubíquos no meio ambiente, são fáceis de isolar, apresentam uma elevada especificidade, ausência de toxicidade, baixo custo de produção, são inofensivos aos seres humanos e têm uma grande capacidade de evolução para superar a resistência bacteriana. Esta última característica deve-se à capacidade que os fagos apresentam de lisar os hospedeiros (bactérias) utilizando mecanismos de controle bacteriano diferente dos antibióticos, sendo assim capazes de matar bactérias resistentes a antibióticos (TEIXEIRA et al, 2015).

Bacteriófagos são vírus que se multiplicam seletivamente em bactérias e a fagoterapia é um método que utiliza os bacteriófagos como agentes terapêuticos para o tratamento de infecções bacterianas (BETTS et al, 2013; COOPER, DENYER, MAILLARD, 2013; ESSOH et al, 2013; HENRY, LAVIGNE e DEBARBIEUX, 2013; SOOTHILL, 2013; ZHANG, HUNT e HU, 2013).

No caso de bacteriófagos líticos, a expressão de genes precoces proporciona a síntese de enzimas necessárias à duplicação de seu material genético, seguida pela formação de proteínas para a composição de partículas virais. Finalmente ocorre a síntese de peptídeos que formam poros e causam o rompimento das estruturas da membrana bacteriana com a consequente liberação de inúmeras cópias do bacteriófago no meio externo. Os bacteriófagos parecem ser preferencialmente específicos para um hospedeiro (LEVINE, 1992), mas bacteriófagos líticos para várias bactérias de espécies diferentes foram descritos, e provavelmente exerçam papel importante na ecologia de micro-organismos e na transferência de genes

entre espécies (JENSEN et al, 1998).

A interação entre biofilmes e bacteriófagos ainda não é clara. Apesar da matriz polimérica ser uma barreira mecânica potencialmente capaz de impedir o acesso dos vírus as bactérias, é possível que o biofilme atue como um reservatório para os fagos e, conforme o biofilme envelhece e células morrem ou são liberadas, novos receptores virais em potencial tornem-se acessíveis a infecção (SUTHERLAND et al, 2004).

A embalagem protege os alimentos contra qualquer tipo de dano seja ele de natureza química, física ou microbiológica, desde o acondicionamento até o consumo final, a fim de assegurar a manutenção de suas próprias características por um período de tempo mais longo, após seu processamento. Deste modo, as embalagens devem evitar alterações das características sensoriais como: sabor, textura, doçura, aceitação global, aroma como também deterioração física, química e microbiológica do produto, além de satisfazer as necessidades de marketing tanto da empresa como também do consumidor, custo, disponibilidade entre outros. Onde o tipo de embalagem no qual o produto é acondicionado pode influenciar na sua vida útil (SOUZA et al, 2012).

Segundo Abrandes (2008), a possibilidade de contaminação e desenvolvimento microbiano nos materiais usados nas embalagens de produtos alimentícios, sobretudo se da devido à ausência de boas práticas de higiene. É, portanto, fundamental que se realize a higienização e limpeza das embalagens para evitar a proliferação de microrganismos.

As embalagens biodegradáveis compõem parte importante do cenário de pesquisa nacional e internacional, com trabalhos importantes quanto à produção, caracterização e aplicação destes materiais (DEBIAGI et al, 2012).

As embalagens confeccionadas com os polímeros sintéticos convencionais podem demorar entre 100 e 450 anos para se degradar quando descartados no meio ambiente e interferem de forma significativa nos processos de compostagem e de estabilização biológica (SPINACÉ; PAOLI, 2005). De acordo com Lazarevic et al. (2010), a gestão de resíduos sólidos pode diminuir esse impacto através de programas como: reciclagem, incineração com reaproveitamento da energia gerada, reutilização e descartes em aterros sanitários e, além disso, visando reverter esse quadro,

várias pesquisas estão sendo desenvolvidas para incrementar e/ou desenvolver materiais biodegradáveis que possam substituir, em algumas aplicações, os polímeros sintéticos (LI et al., 2011; MELO et al., 2011).

Os principais requisitos para a produção de novos materiais biodegradáveis são: (1) não toxicidade dos mesmos, bem como de seus produtos de degradação; (2) apresentarem propriedades mecânicas adequadas; (3) processabilidade e (4) baixo custo (AMASS, AMASS e TIGHE, 1998). Em geral, a utilização de polímeros vem crescendo de forma vertiginosa, o mercado mundial destes materiais em 1950 era de 5 milhões de toneladas e hoje está em torno de 100 milhões de toneladas, sendo que o setor de embalagens consome aproximadamente 42% do total (SILVESTRE, DURACCIO e CIMMINO, 2011), o que pode ser um dado interessante quando se pensa na aplicação destes novos materiais biodegradáveis.

Os polímeros biodegradáveis são materiais alternativos que podem substituir em parte os polímeros sintéticos. Além disso, sofrem mais facilmente a ação de micro-organismos por conterem funções orgânicas em suas cadeias alifáticas (carbonilas, hidroxilas, ésteres e hidroxiácidos) mais susceptíveis à ação enzimática. No entanto, esta ação depende de fatores, tais como: tipos de micro-organismos presentes, condições do meio (temperatura, umidade, pH, luz, O₂) e propriedades do polímero (massa molar, cristalinidade, etc) (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010).

Desta forma, para fornecer um produto seguro ao consumidor, é essencial verificar e monitorar as condições higiênico-sanitárias de equipamentos e utensílios utilizados no processamento (OLIVEIRA et al, 2010) visto que, procedimentos de limpeza e desinfecção podem contribuir com o controle de biofilmes (SIMÕES, SIMÕES e VIEIRA, 2010)

Para que haja eficácia, a sanitização deve ser realizada por meios físicos ou químicos. Os meios físicos caracterizam-se pela utilização do calor (vapor, água quente e ar quente), radiação ultravioleta e por processamento com alta tensão e por meio químicos, destaca-se o emprego de compostos clorados, iodados e quaternários de amônio, dentre outros (CARDOSO et al, 2003).

As propriedades físico-químicas da superfície podem influenciar na adesão inicial e resistência dos micro-organismos, tanto quanto sua estrutura e composição (GHARECHAHI; MOOSAVI e FORGHANI, 2012).

Além disso, estudos demonstram a resistência das células aderidas em relação a desinfetantes (GUTIÉRREZ et al., 2012; ABUSHELAIBI, AL SHAMSI e AFIFI, 2012), perante a dificuldade da eliminação de biofilmes em superfícies e a necessidade de um processo de higienização adequado (CAIXETA et al., 2010).

Os produtos ativos permitidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 1988) para uso em indústrias de processamento de alimentos, são: aldeídos, fenólicos, quaternários de amônia, compostos orgânicos e inorgânicos liberadores de cloro ativo, iodo e derivados, álcoois e glicóis, biguanidas e outros, desde que atendam a legislação específica.

Propriedades físico-químicas da superfície podem influenciar na adesão inicial dos micro-organismos, tanto quanto sua estrutura e composição (GHARECHAH; MOOSAVI e FORGHANI, 2012). Canais e fissuras podem facilitar a fixação e alojamento de bactérias, além de dificultar os procedimentos de higienização (DIAS et al., 2010).

Células associadas em biofilme são mais resistentes a antibióticos, detergentes e cloro (WATNICK e KOLTER, 2000). A resistência de micro-organismos patogênicos está atribuída, frequentemente, ao uso inadequado ou em excesso de antibióticos e a transmissão de genes de resistência entre os indivíduos em biofilme (BORGES et al., 2013).

Células em biofilme apresentam um modo de vida diferenciado em relação a células planctônicas, principalmente, à resistência a antimicrobianos. Em função disso e do potencial dos biofilmes como fonte crônica de contaminação microbiana, vários estudos têm sido direcionados a combatê-los e a utilização de agentes antimicrobianos tem demonstrado eficácia na redução ou remoção dessa comunidade microbiana. (RECH, 2013)

Considerações finais

A facilidade com que as bactérias se organizam para formar os biofilmes é um fator primordial para os processos na indústria alimentar, do ponto vista negativo, visto que muitos podem causar patogenicidade.

Essa patogenicidade pode tornar-se uma problemática na saúde pública, por conta do consumo abrangente de produtos industrializados. É

válido destacar que boa parte destes, são biodegradáveis. Tais fatos, aliados com a morfofisiologia dos biofilmes discutida, ratificam a preocupação com estes no uso incorreto de embalagens reutilizáveis.

Apesar da importância da Educação Ambiental, o que remete a reutilização de materiais biodegradáveis de embalagens, muitos micro-organismos podem resistir ao processo de higienização e de reciclagem (como coleta, triagem, armazenamento e assepsia).

Novos estudos são imprescindíveis, não somente quanto à fisiologia dos biofilmes, mas quanto aos seus efeitos na alimentação da população, a fim de evitar prejuízos econômicos no âmbito de saúde pública em virtude de problemas alimentares.

Referências

ABRANTES, Ana Isabel de Carvalho. Higiene de embalagens de produtos horofrutículas, comparação entre embalagens de madeira e de plástico. 2008. Tese de Doutorado. FCT-UNL. Disponível em: <[un.unl.pt/bitstream/10362/1958/1/Abrantes_2008.pdf](http://unl.pt/bitstream/10362/1958/1/Abrantes_2008.pdf)>. Acesso em 02.04.2016.

ABUSHELAIBI, Aisha A.; AL SHAMSI, Mariam S.; AFIFI, Hanan S. Use of antimicrobial agents in food processing systems. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, v. 4, p. 2-7, 2012.

ALMEIDA, Paulo Garcia de. Alimentos Industrializados Versus Saúde do Consumidor. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*. v. 6, n. 3, p. 73-77, Out. 2013. Disponível em: <<http://revistarevinter.com.br/index.php/toxicologia/article/viewFile/160/376>>. Acesso em 12.04.2016.

AMASS, W.; AMASS, A.; TIGHE, B. A Review of Biodegradable Polymers: Uses, Current Developments in the Synthesis and Characterization of Biodegradable Polyesters, Blends of Biodegradable Polymers and Recent Advances in Biodegradation Studies. *Polymer International*, v. 47, p.89 - 144, 1998.

BETTS, A, et al. Back to the future: involving bacteriophages to increase

their effectiveness against the pathogen *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. *Evol. Appl.*, v. 6, n. 7, p. 1054-1063, 2013.

BITTANTE, Ana Mônica Q. Barbosa, BOVO, Fernanda, OLIVEIRA, Carlos Augusto Fernandes de. Aplicação de compostos antimicrobianos naturais em biofilmes para embalagens de alimentos. In: ResearchGate, dezembro/2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Oliveira12/publication/237081226_Application_of_natural_antimicrobial_compounds_in_biofilms_for_food_packing/links/542180de0cf203f155c6ded2.pdf>. Acesso em 07.04.2016.

BORGES, Anabela. et al. Antibacterial Activity and Mode of Action of Ferulic and Gallic Acids Against Pathogenic Bacteria. *Microbial Drug Resistance*, 2013.

BRASIL. Portaria nº 15 de 23 de agosto de 1988 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Determina que o registro de produtos saneantes domésticos sanitários com finalidade antimicrobiana seja procedido de acordo com as normas regulamentares. *Diário oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 05 set. 1988.

CAIXETA, Daniela S. et al. Chemical sanitizers to control biofilms formed by two *Pseudomonas* species on stainless steel surface. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 32, n. 1, p. 142-150, 2010.

CARDOSO, Claudia C. et al. Avaliação microbiológica de um processo de sanificação de galões de água com a utilização de ozônio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, n. 1, p. 59-61, 2003.

COOPER C. J.; DENYER, S. P.; MAILLARD, J. Y.. Stability and purity of a bacteriophage cocktail preparation for nebulizer delivery. *Lett. Appl. Microbiol.*, v. 25, n. 30, p. 803-813, 2013.

DEBIAGI, Flávia, et al. Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports. V. 1, N. 2 (2012). Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/wrevojs246/index.php/bbr/article/view/14334>>. Acesso em 12.04.2016.

DIAS, Nayane A. A. et al. Avaliação da adesão de *Pseudomonas aeruginosa* através de eletromicrografia de varredura em cupons de náilon e poliestireno. In: XIX Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 2010, Lavras. Anais...Lavras: 2010.

ESSOH, C, et al. The susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa* strains from cystic fibrosis patients to bacteriophages. PLoS One., v. 8, n. 4, 2013.

GHARECHAHI, Maryam.; MOOSAVI, Horieh.; FORGHANI, Maryam. Effect of surface roughness and materials composition on biofilm formation. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, v. 3, p. 541-546, 2012.

GUTIÉRREZ, Diana. et al. Incidence of *Staphylococcus aureus* and analysis of associated bacterial communities on food industry surfaces. Applied Environmental Microbiology, v. 78, n. 24, 2012.

HENRY, M., LAVIGNE, R., DEBARBIEUX, L.. Predicting in vivo efficacy of therapeutic bacteriophages used to treat pulmonary infections. Antimicro. Agents Chemother., v. 57, n. 12, p. 5961-5968, 2013.

HIGA, Juliana Suyama. Biofilmes. Cultura e Extensão - Microbiologia - ICB USP. Disponível em: <http://www.icb.usp.br/bmm/ext/index.php?option=com_content&view=article&id=158%3Abiofilmes&catid=12%3Ageral&lang=br>. Acesso em 01.10.2016.

JENSEN, E. C., et al. Prevalence of Broad-Host-Range Lytic Bacteriophages of *Sphaerotilus natans*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*. Appl. Environ. Microbiol., v. 64, p. 575-580, 1998.

LAZAREVIC, D.; Aoustin, E.; BUCLET, N.; BRANDT, N. Plastic waste ma

nagement in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, v.55, p. 246-259, 2010.

LI, Y. Jiang, et al. Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film. *Food Hydrocolloids*, v.25, p.1098 - 1104, 2011.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina - Ciências Agrárias*, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MARTIN, José Guilherme Prado et al. Biofilmes bacterianos na indústria de alimentos. In: *Workshop de Ciências da APG/ESALQ: O Despertar Profissional*. Piracicaba (SP), 2014. Disponível em: <http://www4.esalq.usp.br/biblioteca/sites/www4.esalq.usp.br/biblioteca/files/avisos/ANAIS_WORKSHOP_Ciencias_APG_FINAL.pdf>. Acesso em 06.04.2016.

MELO, C. P. B. et al. Effect of Manufacturing Process and Xanthan Gum Addition on the Properties of Cassava Starch Films. *Journal of the Polymers and Environment*, v. 19, p.739-749, 2011.

MONROE, Don. Looking for Chinks in the Armor of Bacterial Biofilms. *PLoS Biol* 5(11): e307. 2007

OLIVEIRA, Maíra M. M. de. et al. Formação de biofilme por *Listeria monocytogenes* em cultivo estático e sob agitação. In: *XX Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 2011, Lavras. Anais...* Lavras: 2011.

OLIVEIRA, Maíra Maciel Mattos de, BRUGNERA, Danilo Florisvaldo, PICCOLI, Roberta Hilsdorf. Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*. São Paulo, 2010; 69(3): 277-84. Disponível em: <http://periodicos.ses.sp.bvs.br/pdf/rial/v69n3/v69n3a01.pdf>>. Acesso em 06.04.2016.

OLIVEIRA, MMM de, et al. Biofilm formation by *Listeria monocytogenes* on stainless steel surface and biotransfer potential. *Braz J Microbiol.* 2010; 41 (1): 97-106.

RAVISHANKAR, S, et al. Assessing the cross contamination and transfer rates of *Salmonella enterica* from chicken to lettuce under different food-handling scenarios. *Food Microbiol.* 2010; 27 (6): 791-4.

RECH, Chaiane Regina. Estudo da adesão e formação de biofilme de *Escherichia coli* em PET poli(tereftalato de etileno) e resistência a biocidas. Dourados-MS : UFGD, 2013. Disponível em: <<http://200.129.209.183/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-CIENCIA-TECNOLOGIA-AMBIENTAL>>. Acesso em 12.04.2016.

SILVESTRE, C.; DURACCIO, D.; CIMMINO, S. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science*, v. 36, p. 1766-1782, 2011.

SIMÕES, Manuel.; SIMÕES, Lúcia C.; VIEIRA, Maria J. A review of current and emergent biofilm control strategies. *Food Science and Technology*, v. 43, p. 573-583, 2010.

SOOTHILL, J. Use of bacteriophages in the treatment of *Pseudomonas aeruginosa* infections. *Expert Rev. Anti. Infect. Ther.*, v. 11, n. 9, p. 909-915, 2013.

SOUSA, et al. Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 8, n. 1, p. 19-27, jan - mar, 2012.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química. Nova*, v. 28, n.1, p. 65-72, 2005.

STOODLEY, P, SAUER, K, DAVIES, D. G. e COSTERTON, J. W.. Biofilms As Complex Differentiated Communities. *Annu. Rev. Microbiol.* 2002. 56:187-209 DOI: 10.1146/annurev.micro.56.012302.160705. 2002

SUTHERLAND, I. W., et al. The interaction of phage and biofilms. FEMS Microbiology Letters, v. 232, p. 1-6, 2004.

TEIXEIRA, Pilar et al. O impacto de biofilmes microbianos na higiene e segurança alimentar. Boletim de biotecnologia, n. 6, p. 31-34, 2015. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/35326/1/document_21040_1.pdf>. Acesso em 06.04.2016.

TORTORA, Gerard J., FUNKE, Berdell L., CASE, Christine L.. Microbiologia. 10ª edição. Porto Alegre, Artmed, 2012.

WATNICK, Paula; KOLTER, Roberto. Biofilm, City or Microbes. Journal of Bacteriology, v. 183, n. 10, p. 2675-2679, 2000.

ZHANG, Y.; HUNT, H. K., HU, Z.. Application of bacteriophages to selectively remove *Pseudomonas aeruginosa* in water and wastewater filtration systems. Water Res., v. 47, n. 13, p. 4507-4518, 2013.