

**ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA:
EMBALAGEM SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
ATMOSFERA MODIFICADA E ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO**

LEONORA MANSUR MATTOS

2005

LEONORA MANSUR MATTOS

**ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA:
EMBALAGEM SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
ATMOSFERA MODIFICADA E ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientadores

Dr. Admilson Bosco Chitarra

Dr. Celso Luiz Moretti

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

LEONORA MANSUR MATTOS

**ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA: EMBALAGEM
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE ATMOSFERA MODIFICADA E
ARMAZENAMENTO REFRIGERADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 31 de agosto de 2005

Maria Isabel Fernandes Chitarra UFLA

Eduardo Valério Vilas Boas UFLA

Roberta H. Piccoli-Valle UFLA

Dr. Admilson Bosco Chitarra
UFLA

Dr. Celso Luiz Moretti
EMBRAPA
(Orientadores)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

O começo de tudo, a dedicação e a persistência para que cada sonho fosse
milimetrica e docemente realizado

*À memória de meus queridos pais
Roussaulière Mattos
Georgete Mansur Mattos*

Àqueles que sempre me ensinaram carinhosamente o que é ser irmão.

Aos meus irmãos Alex, Lorenza e Aulus

Quando pensei que a vida havia parado, percebi que ela continuava e podia ser iluminada.

Aos meu sobrinho Theodoro

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tornar tudo isto realidade e nos momentos mais difíceis mostrar o caminho certo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que por concessão de seus auxílios financeiros possibilitaram minha formação Pós-Graduada.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos pela oportunidade de realização deste curso.

Aos pesquisadores e funcionários da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNPq), por terem carinhosamente me acolhido em parte deste trabalho.

Ao Dr. Adimilson Bosco Chitarra, pela orientação, disponibilidade, ensinamentos, afeto e, acima de tudo, pela amizade.

Ao Dr. Celso Luiz Moretti, pela orientação constante, amizade, ensinamentos, paciência, compreensão, encorajamento e sugestões neste trabalho e em minha vida profissional.

À Dra. Maria Isabel Fernandes Chitarra, pela atenção, incentivo e sugestões.

Ao Professor Eduardo V. de B. Vilas Boas pelas sugestões, disponibilidade, incentivo e amizade.

À Dra. Mônica Elizabeth Torres Prado, pela amizade, sugestões e convívio.

Ao Dr. José da Cruz Machado, pela amizade, atenção e incentivo demonstrados.

Ao Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pelo apoio, incentivo e amizade.

Ao Dr. Adonai Gimenez Calbo, pela paciência, disponibilidade, ensinamentos e valiosas sugestões para a realização deste trabalho.

À Dra. Cristina Maria Monteiro Machado, pela amizade e apoio incondicional em todos os momentos deste trabalho.

À Dra. Patrícia Gonçalves Batista de Carvalho, pela amizade e incentivo.

À Fernanda Lúcia das Neves Berg, pela ajuda nas análises, companheirismo, desabafos e por me “apresentar” Brasília.

Ao João Bastista Gomes, pela amizade, apoio, incentivo e por todas as montagens feitas, tornando possível a realização de várias etapas da parte experimental deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, pelo companheirismo, risos e desabafos compartilhados.

À Regina Célia Adão, pela valiosa amizade demonstrada, principalmente nos momentos mais difíceis.

À Tina, Sandra, Mércia, Cleusa e Paulo pela atenção dispensada, amizade, colaboração no decorrer deste trabalho e, ainda, a oportunidade de tornarmos amigos.

À Vera Lúcia de Moura Delphim e Ângelo Alberto de Moura Delphim pela amizade, atenção dispensada, apoio e incentivo durante todo o curso.

À Yolanda de Paula (*in memorian*), minha avó, pela presença constante e carinho demonstrado a cada dia.

Aos amigos da Biblioteca Central da UFLA pelos serviços prestados e amizade.

Aos meus amigos do Departamento de Química, do Instituto de Ciências Exatas e do Departamento de Ciência de Alimentos, da Faculdade de Farmácia da UFMG.

À todos aqueles que, anonimamente, contribuíram para que esse trabalho chegasse ao fim.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 Alface.....	5
2.2 Processamento mínimo.....	6
2.3 Alterações metabólicas.....	8
2.3.1 Respiração.....	9
2.3.2 Produção de etileno.....	11
2.3.3 Escurecimento enzimático.....	13
2.3.4 Clorofila.....	17
2.4 Embalagem.....	19
2.5 Atmosfera Modificada.....	21
2.6 Temperatura.....	25
2.7 Mercado.....	27
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
CAPÍTULO 2: ATIVIDADE RESPIRATÓRIA E EVOLUÇÃO DE ETILENO EM ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA SOB DUAS TEMPERATURAS.....	39
RESUMO.....	40
ABSTRACT.....	41
1 INTRODUÇÃO.....	42
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.1 Material vegetal.....	45
2.2 Processamento mínimo.....	45

2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem.....	45
2.2.2 Corte (processamento).....	45
	Página
2.2.3 Enxágüe.....	46
2.2.4 Sanitização e enxágüe.....	46
2.2.5 Centrifugação.....	46
2.3 Determinação da atividade respiratória e evolução de etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 e 10 mm.....	46
2.3.1 Folhas inteiras.....	46
2.3.2 Folhas processadas a 5 e 10 mm.....	47
2.3.3 Composição gasosa da atmosfera interna.....	47
2.4 Análise estatística.....	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.1 Atividade respiratória em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 e 10 mm, armazenadas sob duas temperaturas.....	49
3.2 Evolução de etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 e 10 mm, armazenadas sob duas temperaturas.....	51
4 CONCLUSÕES.....	55
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
CAPÍTULO 3: COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA SOB DUAS TEMPERATURAS E EM DOIS SISTEMAS DE EMBALAGEM.....	59
RESUMO.....	60
ABSTRACT.....	61
1 INTRODUÇÃO.....	62

2 MATERIAL E MÉTODOS.....	65
2.1 Material vegetal.....	65
2.2 Processamento mínimo.....	65
2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem.....	65
2.2.2 Corte (processamento).....	65
2.2.3 Enxágüe.....	66
	Página
2.2.4 Sanitização e enxágüe.....	66
2.2.5 Centrifugação.....	66
2.2.6 Embalagem.....	66
2.2.7 Armazenamento.....	67
2.3 Determinação das concentrações de dióxido de carbono e etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 mm em dois tipos de embalagens.....	67
2.3.1 Determinação da concentração de dióxido de carbono e etileno no interior das embalagens.....	68
2.3.2 Determinação da concentração de oxigênio na atmosfera interna das embalagens.....	68
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
3.1 Concentração de dióxido de carbono em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 mm, armazenadas em duas embalagens.....	70
3.2 Concentração de etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 mm, armazenadas sob duas temperaturas e em duas embalagens.....	72
3.3 Concentração de oxigênio em alface crespa minimamente processada, folhas inteiras e a 5 mm, armazenadas sob duas temperaturas e em duas embalagens.....	74
4 CONCLUSÕES.....	77
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

CAPÍTULO 4: QUALIDADE QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUÍMICA DE ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA A 5 °C EM DOIS SISTEMAS DE EMBALAGEM.....	81
RESUMO.....	82
ABSTRACT.....	83
1 INTRODUÇÃO.....	84
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	86
2.1 Material vegetal.....	86
	Página
2.2 Processamento mínimo.....	86
2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem.....	86
2.2.2 Corte (processamento).....	86
2.2.3 Enxágüe.....	87
2.2.4 Sanitização e enxágüe.....	87
2.2.5 Centifugação.....	87
2.2.6 Embalagem.....	87
2.2.7 Armazenamento.....	88
2.3 Sólidos solúveis totais.....	88
2.4 Acidez titulável.....	88
2.5 Determinação de cor.....	89
2.6 Determinação da atividade da polifenoloxidase.....	89
2.7 Determinação da atividade da peroxidase.....	89
2.8 Delineamento estatístico.....	90
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
3.1 Concentração de sólidos solúveis totais.....	91
3.2 Teor de acidez titulável	92
3.3 Cor.....	93
3.3.1 Valor a*.....	93

3.3.2 Brilho (L*).....	95
3.4 Atividade da polifenoloxidase.....	97
3.5 Atividade da peroxidase.....	99
4 CONCLUSÕES.....	102
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
CAPÍTULO 5: QUALIDADE E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA EM DOIS SISTEMAS DE EMBALAGENS SOB ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA....	107
RESUMO.....	108
ABSTRACT.....	109
1 INTRODUÇÃO.....	110
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	114
2.1 Material vegetal.....	114
2.2 Processamento mínimo.....	114
2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem.....	114
2.2.2 Corte (processamento).....	114
2.2.3 Enxágüe.....	115
2.2.4 Sanitização e enxágüe.....	115
2.2.5 Centifugação.....	115
2.2.6 Embalagem.....	115
2.2.7 Armazenamento.....	116
2.3 Determinação das concentrações de dióxido de carbono e etileno no interior das embalagens.....	116
2.4 Determinação da concentração de oxigênio nas embalagens plásticas.....	117
2.5 Clorofila.....	119
2.5.1 Preparo da amostra.....	119
2.5.2 Procedimento de análise.....	119

2.6 Atividade enzimática.....	120
2.6.1 Extração de polifenoloxidase e peroxidase.....	120
2.6.2 Determinação da atividade da polifenoloxidase-PPO.....	120
2.6.3 Determinação da Atividade da peroxidase-POD.....	120
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	122
3.1 Determinação da concentração de dióxido de carbono em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O ₂ / 5%CO ₂ e 10%CO ₂ / 2%O ₂	122
3.2 Determinação da concentração de etileno em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O ₂ / 5%CO ₂ e 10%CO ₂ / 2%O ₂	123
	Página
3.3 Determinação da concentração de oxigênio em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O ₂ / 5%CO ₂ e 10%CO ₂ / 2%O ₂	124
3.4 Determinação de clorofila em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O ₂ / 5%CO ₂ e 10%CO ₂ / 2%O ₂	127
3.5 Determinação da atividade de peroxidase em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O ₂ / 5%CO ₂ e 10%CO ₂ / 2%O ₂ .	128
3.6 Determinação da atividade da polifenoloxidase em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O ₂ / 5%CO ₂ e 10%CO ₂ / 2%O ₂	128

4 CONCLUSÕES.....	131
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
CONCLUSÕES GERAIS.....	136

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Os hábitos alimentares dos consumidores vêm se modificando, nas últimas décadas, principalmente na Europa Ocidental, Japão e EUA. Grandes mudanças verificadas no agronegócio internacional estão ligadas à investigação do comportamento do consumidor e suas tendências, no intuito de entender as implicações que esses novos hábitos têm no agronegócio, para realizar as adequações necessárias. Assim, observa-se que, no Brasil, a população está se tornando mais velha, com alto nível de urbanização, crescente participação feminina no mercado de trabalho, aumento no número de pessoas morando sozinhas e maior distância entre os locais de trabalho e as moradias. Isso tem levado a um atendimento mais personalizado das necessidades do consumidor, com embalagens menores e produtos mais convenientes.

Esse consumidor, com novo perfil, tem comprado cada vez mais produtos com grande conveniência, alto valor nutritivo, excelente qualidade sensorial e com segurança no consumo; o que faz com que os produtos minimamente processados ganhem cada vez mais importância no mercado de frutas e hortaliças frescas.

O processamento mínimo é, então, a transformação *in natura* de partes vegetais, por meio das etapas de pré-seleção, lavagem, classificação, corte, sanitização, enxágüe, centrifugação, embalagem e armazenamento refrigerado. Assim, é um produto fresco comercializado de forma conveniente, com qualidade e segurança.

Tais avanços têm ocorrido principalmente em países desenvolvidos e é especificamente nesses locais que se têm visto os maiores desenvolvimentos tecnológicos e a maior expansão comercial. Embora os países da América Latina sejam os principais produtores de frutas e hortaliças frescas, ainda é

relativamente pequena a comercialização desses produtos na forma minimamente processada nesses países, ainda que haja grande interesse de alguns setores em comercializar produtos minimamente processados, principalmente na forma de saladas.

A utilização de produtos hortícolas minimamente processados no Brasil é, relativamente, recente, mas com grande potencial de crescimento, devido à economia de tempo e trabalho que proporciona em nível doméstico, em redes de alimentação rápida e em restaurantes. Esses fatores têm feito com que o consumidor anseie por produtos de alta qualidade aliados ao preparo rápido e fácil, o que abre uma excelente perspectiva de comercialização para os produtos minimamente processados.

Do ponto de vista de qualidade, é desejável que o produto minimamente processado preserve, ao máximo, as características das frutas e hortaliças. O que o consumidor observa e procura como o atributo mais atraente desses produtos inclui a aparência de fresco, sabor e aroma, em adição à conveniência.

Obviamente, qualquer alimento deve ser seguro para o consumo, e os produtos minimamente processados são muito sensíveis à contaminação microbiológica. Entre as limitações da vida de prateleira dos produtos minimamente processados estão a contaminação microbiológica, a perda de água, o escurecimento enzimático, o esbranquiçamento, a mudança de textura e o desenvolvimento de sabor e odor indesejáveis, entre outros. Os atributos de qualidade básicos de um alimento são cor, textura, sabor, aroma e valor nutricional. Quando a qualidade do produto vegetal é levada em consideração, os consumidores tomam a aparência do produto como critério básico, sendo a cor provavelmente o principal fator considerado.

O processamento mínimo de alface tem sido um procedimento bem aceito pelo mercado consumidor, tanto em nível de varejo como institucional, sendo a alface comercializada isoladamente ou com outras hortaliças para o

preparo de saladas e sanduíches, entre outros. É uma prática conveniente para o comerciante por agregar valor ao produto, eliminando partes não utilizáveis, aumentando o valor comercial e reduzindo o preço do transporte. O mercado varejista é composto principalmente por redes de supermercados, ao passo que o institucional é representado por cozinhas industriais, hospitalares, restaurantes, redes de lanchonetes, companhias de aviação e bufês.

Apesar de a alface ser uma das hortaliças mais consumidas na forma minimamente processada, a literatura, sobretudo nacional, é deficiente no que diz respeito a informações referentes a alterações fisiológicas, físicas, bioquímicas e microbiológicas associadas ao processamento mínimo da alface crespa armazenada sob atmosfera modificada ativa e passiva.

Objetivou-se no presente trabalho, estudar os comportamentos fisiológico, físico e bioquímico da alface crespa cultivar Verônica, minimamente processada, armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada ativa e passiva.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Alface

Originária da Ásia, a alface pertence à família Asteracea e ao gênero *Lactuca*. A espécie é classificada como *Lactuca sativa* L. Foi trazida para o Brasil pelos portugueses no início do século XVI. É a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, como componente básico de saladas, seja no uso doméstico, seja no comercial, tornando a sua cultura uma das mais expressivas em importância econômica (Meirelles, 1998).

A alface é uma hortaliça tipicamente folhosa, sendo uma planta anual, herbácea com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas, formando ou não cabeças. É uma hortaliça que apresenta folhas lisas ou crespas com coloração variando do verde-claro ao verde-escuro, porém, algumas cultivares têm pigmentação roxa nas bordas ou na folha como um todo. Essa hortaliça possui uma fase de crescimento vegetativo, compreendida desde a semeadura até o ponto de colheita e uma fase reprodutiva que é estimulada por temperaturas acima de 20 °C. A transição entre as duas fases é caracterizada pela formação de látex, que provoca a formação do gosto amargo (Filgueira, 2000; Maluf, 1996).

Considerada uma espécie de grande importância do ponto de vista econômico, a alface ocupa a sexta posição entre as hortaliças. Sua produção no Brasil é normal e regular nos meses entre abril e dezembro, porém sendo a produção baixa entre janeiro e março. Todavia pode ser cultivada durante o ano todo, principalmente pelo sistema de hidroponia com elevada produtividade, excelente qualidade e, ainda, com redução da contaminação por microrganismos (Meirelles, 1998).

Filgueira (2000) classifica a alface em seis grupos, repolhuda-manteiga, repolhuda-crespa, solta-lisa, solta-crespa, mimosa e romana. A alface Verônica é do grupo solta-crespa, possui folhas crespas, consistentes, soltas e não formam cabeça.

A planta possui vitaminas A e C, cálcio (43 mg/100g), fósforo (34 mg/100g) e ferro (1,3 mg/100g), e é na medicina popular recomendada como um produto dotado de propriedade calmante. Apesar de não constituir uma fonte considerável de vitaminas e minerais, exceção feita à vitamina A, sua importância nutricional é proveniente da regular utilização dessa folhosa na dieta da população brasileira (Meirelles, 1998).

2.2 Processamento mínimo

Por definição, o produto minimamente processado é “qualquer fruta ou hortaliça, ou combinação desses vegetais, que tenha sido fisicamente alterada, mas permanecendo no seu estado fresco (International Fresh-cut Produce Association – IFPA, 1999; Moretti et al., 2000). O processamento mínimo é, então, a transformação de partes vegetais frescas, por meio das etapas de pré-seleção, lavagem, classificação, corte, sanificação, enxágüe, centrifugação, embalagem e armazenamento refrigerado (Watada & Qi, 1999). Além de minimamente processados, pode-se encontrar na literatura termos como levemente processados, suavemente processados e ainda o termo sem tradução como “fresh-cut” (Wiley, 1994).

Um crescimento evidente destes produtos tem sido observado pela decorrência do aumento do consumo de frutas e hortaliças na dieta diária, pois sabe-se que vegetais podem prevenir ou até mesmo reduzir o risco de algumas doenças crônicas (King & Bolin, 1989; Ronk et al., 1989).

Considerando-se que existe um aumento no consumo de frutas e hortaliças no mercado brasileiro, bem como incentivo à produção, surge uma

crescente preocupação com relação à qualidade do alimento produzido e consumido, havendo, portanto, a demanda de fornecimento de novas tecnologias, que podem assegurar o fornecimento de vegetais com alta qualidade, satisfazendo assim uma tendência natural de produtores e consumidores em associar tais produtos com uma dieta saudável (Cook, 1997; Gorny, 1997).

A matéria-prima destinada ao processamento mínimo deve ser sempre de primeira qualidade, com monitoramento na fase de produção, na colheita, e antes do processamento, por meio da seleção e da classificação. Do mesmo modo, é indispensável o uso de tecnologias e manuseio adequados nas etapas do processamento, com controle rigoroso da temperatura, da atmosfera interna da embalagem e das condições de higiene não só do produto, como também dos operários, dos equipamentos, dos implementos e das instalações da planta de processamento (Cantwell, 2000).

O processamento mínimo da alface tem sido um procedimento bem aceito pelo mercado consumidor (varejo ou institucional), sendo essa folhosa comercializada sozinha ou em mistura com outras hortaliças. É uma prática conveniente para o comerciante por agregar valor ao produto, eliminar as partes não utilizáveis, aumentando o valor comercial e podendo reduzir o preço do transporte. O mercado varejista é composto, principalmente, por redes de supermercados, ao passo que o institucional é representado por cozinhas industriais, hospitalares, restaurantes, redes de lanchonetes, companhias de aviação, bufês, etc. O mercado, tanto institucional como varejista, exige uniformidade na qualidade do produto e rigorosos padrões de higiene, pois a baixa qualidade afeta a confiança do consumidor e reduz o crescimento da demanda (Moretti, 2004).

2.3 Alterações metabólicas

Como resultado direto do estresse mecânico associado ao processamento, frutas e hortaliças minimamente processadas se deterioram mais rapidamente do que o produto intacto. O processamento provoca uma série de alterações físicas e fisiológicas que afetam a viabilidade e a qualidade do produto (Brecht, 1995; Saltveit, 1997). Os sintomas visuais de deterioração incluem o amolecimento devido à perda de água, mudanças na coloração (especialmente aumento do escurecimento oxidativo nas superfícies cortadas), e contaminação microbiana (Brecht, 1995; King & Bolin, 1989; Varoquaux & Wiley, 1994). A perda de nutrientes também pode ser acelerada quando tecidos vegetais são submetidos a estresses (Klein, 1987; Matthews & McCarthy, 1994). Entretanto, comparando-se com as mudanças fisiológicas e microbiológicas que ocorrem com o tempo, pouca informação está disponível no que diz respeito à retenção de vitaminas, minerais, antioxidantes e outros compostos funcionais durante o manuseio e armazenamento de produtos minimamente processados (Brecht, 1995).

O processamento mínimo, que acarreta uma série de danos físicos decorrentes das operações de preparo, traz como conseqüências a elevação da atividade respiratória e, por conseguinte, a aceleração do metabolismo como um todo, o precoce escurecimento enzimático, a maior perda de umidade, além do aumento da evolução de etileno, como resposta à condição de estresse proveniente do corte do tecido vegetal. Portanto, em decorrência das injúrias mecânicas provocadas ao tecido, que conduzem à rápida perda de qualidade e à precoce deterioração, os produtos minimamente processados apresentam uma vida útil consideravelmente reduzida, se comparados a produtos comercializados *in natura*. Normalmente, enzimas e substratos encontram-se em diferentes compartimentos celulares. A ruptura de estruturas associada ao processamento mínimo permite o contato de enzimas com substratos, promovendo a rápida

depreciação da qualidade, além de favorecer a contaminação microbiana (Varoquaux & Wiley, 1994).

Na alface minimamente processada, um dos principais efeitos indesejáveis é a perda da cor verde com amarelecimento ou escurecimento das bordas cortadas e nervuras, bem como a perda da turgidez. Para reduzir o escurecimento da superfície cortada, das bordas e das folhas, é imprescindível o processamento e o armazenamento sob baixas temperaturas e o uso de atmosfera modificada em condições adequadas na embalagem. Também ocorre aumento no crescimento de microrganismos, que conduzem o produto a uma rápida deterioração e reduzem a segurança no seu uso. Assim, devem ser consideradas todas as etapas desde a colheita até a comercialização, observando-se os aspectos de higiene e sanificação, manutenção da cadeia do frio, condições de manuseio e de processamento, uma vez que todos esses fatores têm grande importância na qualidade e na vida útil do produto. Dessa forma, um sistema de manuseio integrado confere um melhor controle de qualidade e de segurança no uso da alface minimamente processada (Brecht, 1995).

2.3.1 Respiração

A respiração é um processo no qual reações químicas oxidam carboidratos e lipídeos a gás carbônico e água para a produção de energia, sendo a organela responsável pela respiração aeróbica conhecida como mitocôndria. Parte da energia liberada é armazenada na forma de energia química pela adenosina trifosfato (ATP) e parte é perdida na forma de calor. Esse complexo processo pode ser influenciado por diversos fatores intrínsecos, como tamanho do produto, variedade, grau de maturidade, tipo de tecido e fatores extrínsecos, como temperatura, concentração de O_2 e CO_2 e danos mecânicos (Day, 1993).

O conhecimento do nível mínimo de O_2 requerido para a respiração aeróbica é muito importante, para evitar-se que a via anaeróbica seja a via de

respiração predominante, o que ocasiona a perda acelerada de qualidade do produto (Watada et al., 1996).

O produto minimamente processado passa por várias etapas de danos mecânicos (corte, descascamento, retirada de partes não comestíveis) que são inerentes ao processamento mínimo. Essas lesões ocasionam a elevação de sua taxa respiratória e produção de etileno, alterações de cor, sabor, aroma, textura e, na maioria dos casos, perda de qualidade nutricional (Cantwell, 1992).

Na tentativa de diminuir a atividade metabólica, os produtos minimamente processados normalmente são armazenados sob refrigeração, que possibilita a diminuição do crescimento microbiano e das alterações bioquímicas, ampliando o prazo de conservação desses alimentos. Reações metabólicas, entre elas a respiração, são reduzidas em 2 a 3 vezes para cada decréscimo de 10 °C na temperatura, o que permite retardar a maturação e a senescência do produto (Brecht, 1995).

Os efeitos da temperatura sobre reações químicas, inclusive taxa respiratória, tradicionalmente são quantificados pelo Q_{10} , que é um coeficiente pelo qual se verifica quantas vezes aumenta a velocidade de uma reação a cada acréscimo de 10 °C na temperatura. O efeito da temperatura também pode ser quantificado por meio do modelo de Arrhenius, no qual o aumento da temperatura é dado pela energia de ativação (Cameron et al., 1995).

A energia de ativação é um parâmetro que tem sido utilizado para caracterizar embalagens plásticas. O conhecimento da energia de ativação da respiração do produto minimamente processado e da embalagem serve como importante ferramenta para prever os efeitos da flutuação da temperatura sobre a concentração de gases no interior das embalagens (Cameron et al., 1995).

Quando a temperatura aumenta de 0 para 10 °C, a taxa respiratória aumenta substancialmente. Watada et al. (1996) estudando o efeito do aumento da temperatura sobre a taxa respiratória de produtos minimamente processados,

observaram aumentos de 3,4 a 8,3 vezes na taxa respiratória para cada acréscimo de 10 °C na temperatura de armazenamento.

Com o aumento na área da exposição dos tecidos injuriados, o ritmo respiratório aumenta várias vezes. Segundo Brecht (1995), em comparação com o produto inteiro, a atividade respiratória aumentou 1,2 vezes em chicória cortada, 2 vezes em alface cortada e até 7 vezes em cenoura ralada.

2.3.2 Produção de etileno

O estresse em tecidos vegetais ocasiona a elevação das taxas de produção de etileno (Abeles et al., 1992) o qual pode acelerar a senescência e a deterioração em tecidos vegetativos e não-climatéricos, além, de promover o amadurecimento e a senescência de tecidos climatéricos. O aumento da produção de etileno em frutas e hortaliças foi demonstrado estar relacionado proporcionalmente à quantidade de estresses mecânicos sofridos. A sensibilidade ao etileno de muitos tecidos vegetais não-climatéricos está dentro dos limites que se esperaria ocorrer em resposta ao estresse (Warton & Wills, 2002; Wills et al., 1999).

O estresse de frutos climatéricos pode causar aumento na produção de etileno, a qual pode acelerar a ascensão climatérica, resultando em diferentes idades fisiológicas em tecidos intactos e minimamente processados (Brecht, 1995; Watada et al., 1990). O fatiamento de tomates no estágio verde-maduro aumentou a produção de etileno em 3 a 4 vezes e acelerou o amadurecimento quando comprado com o fruto intacto (Mencarelli et al, 1989).

Os efeitos dos estresses diferem entre frutos climatéricos e não-climatéricos (Rosen & Kader, 1989), e a produção de etileno de estresse é usualmente maior em tecidos pré-climatéricos e climatéricos que em pós-climatéricos (Abeles et al., 1992). Enquanto o etileno de estresse não tem nenhum efeito no amadurecimento de frutos não-climatéricos, ele pode estimular

o amadurecimento de frutos climatéricos. Por exemplo, a produção de etileno induzida pela ação física de corte foi suficiente para acelerar o amolecimento de banana e kiwi (Abe & Watada, 1991).

A produção de etileno em frutos climatéricos é promovida pela concentração endógena de etileno por meio de “feedback” positivo e aumento dramaticamente durante o amadurecimento. Entretanto, o “feedback” de etileno na produção desse fitohormônio em tecidos em processo vegetativo, ou de frutificação, é negativo (Saltveit, 1999). Com exceção de alguns aumentos transientes na produção de etileno associada com estresses ocorridos na colheita, os níveis endógenos de etileno são mantidos baixos por meio desse “feedback” negativo. Uma vez que a produção elevada de etileno devido ao estresse é efêmera, a produção endógena desse fitohormônio pode ter um efeito mínimo na qualidade pós-colheita de algumas frutas e hortaliças não-climatéricas. A indução à síntese de etileno por meio de cortes foi suficiente para acelerar a perda de clorofila em espinafre mas não em brócoli (Abe & Watada, 1991). Como um exemplo de contraste entre tecidos não-climatéricos e climatéricos, a produção de etileno em alface minimamente processada (Ke & Saltveit, 1989) é muito menor do que aquela verificada em discos retirados do pericarpo de tomates no estágio verde-maduro (Brecht, 1995). A máxima taxa de produção de etileno da alface e tomate submetidos ao estresse mecânico foi de 0,6 e 8,0 $\mu\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. A produção elevada de etileno durou menos de um dia na alface, enquanto no tomate ainda era elevada após duas semanas, o qual ainda passou pelo climatérico e amadureceu. Além disso, a indução da atividade da FAL em tecidos da alface é mais rápida em tecidos submetidos a estresses mecânicos do que em tecidos tratados com etileno. Se a ocorrência do estresse atua por meio da indução do etileno, então o nível de FAL no tecido de alfaves expostos ao etileno deveria ser maior do que no tecido estressado, uma vez que o passo no qual o estresse induz a produção de etileno não foi executado (Ke &

Saltveit, 1989). No caso da alface, a eliminação do etileno induzido pelo estresse não ocasionaria, portanto, efeito algum na indução da FAL.

O etileno produzido pelo estresse pode aumentar a permeabilidade de membranas e, talvez, reduzir a biossíntese de fosfolípídeos, que perturba o processo dinâmico de integridade de membranas e estrutura celular. Isto pode contribuir para a produção de aldeídos voláteis de cadeias longas, que são responsáveis pela “respiração estresse”, e determinar a rápida utilização de substratos de reserva. Entretanto, alguns dos voláteis estão associados com características de aroma de hortaliças, que podem ser aceitáveis e desejáveis (Watada et al., 1990).

O aumento na evolução de etileno causado pela injúria mecânica acelera os processos de senescência em tecidos vegetais (Abeles et al., 1992). O etileno resultante da ação física do processamento mínimo foi suficiente para acelerar a perda de clorofila em espinafre (*Spinacia oleracea* L.), mas não em brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* group) (Abe & Watada, 1991). Em espinafre, isso ocorre porque o aumento da atividade de clorofilase está diretamente relacionado com o aumento da síntese do etileno (Rodriguez et al., 1987; Sabater & Rodriguez, 1978; Watada et al., 1990 e Yamauchi & Watada, 1991).

2.3.3 Escurecimento enzimático

As enzimas, presentes na maioria das hortaliças e frutas frescas, têm a capacidade de causar mudanças desejáveis e indesejáveis. Com o objetivo de evitar o uso de tratamentos químicos para prevenir o escurecimento enzimático dos tecidos, diferentes estudos têm sido realizados visando a um melhor entendimento das causas do escurecimento e dos meios para evitá-las ou controlá-las. Dessa forma, atenção especial é dedicada ao metabolismo dos compostos fenólicos nos tecidos injuriados fisicamente ou com desordens

fisiológicas responsáveis pelo escurecimento da alface (Ahvenainen, 1996; Lambrecht, 1995; Reyes, 1996).

Os compostos fenólicos correspondem a uma ampla variedade de substâncias desde fenóis simples, ácidos fenólicos e flavonóides, até polímeros complexos como a lignina e a suberina. São normalmente encontrados em folhas, sementes e frutos em concentrações que variam com a espécie, cultivar, órgão e grau de manutenção. De um modo geral, o estresse causado pelas injúrias mecânicas causa modificações no metabolismo fenólico, com oxidação de compostos pré-existentes ou aumento na síntese de monômeros ou polímeros (Barret, 2000; Nojosa et al., 2003).

Os fenólicos solúveis que aumentam após o ferimento e o desenvolvimento do escurecimento em alface são, principalmente, derivados do ácido caféico. O ferimento inicialmente induz a síntese de ácido clorogênico (ácido 5-cafeoilquínico) e do ácido isoclorogênico (ácido 3,5-dicafeoilquínico), os quais também ocorrem com o desenvolvimento do *russet spotting*. Outros fenólicos presentes são os ácidos cafeoiltartárico, dicafeoiltartárico, o 3,4-dicafeoilquínico e o 4,5-dicafeoilquínico (Tomas-Barberan et al., 1997).

Os danos mecânicos que ocorrem na colheita, no manuseio e no processamento mínimo da alface alteram o seu metabolismo, induzindo o aumento da atividade respiratória e da biossíntese de etileno. Este, por sua vez, induz o aumento da atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL), enzima chave no metabolismo fenólico, que catalisa a desaminação da fenilalanina, produzindo o ácido cinâmico, o qual é precursor na biossíntese de vários compostos fenólicos. Além da FAL, outras enzimas têm a transcrição dos seus genes ativada pelo ferimento dos tecidos e pela emissão do etileno, culminando com a biossíntese de lignina (Laurila et al., 1998).

Os compostos fenólicos solúveis podem ser oxidados pela ação da polifenoloxidase (PFO), produzindo quinonas. Estas são incolores mas

polimerizam-se formando pigmentos escuros, responsáveis pelo desenvolvimento da coloração marrom nas superfícies cortadas da alface (Castañer et al., 1996).

O escurecimento dos tecidos pode ser retardado ou inibido pelo uso de tecnologias adequadas, como o armazenamento sob baixas temperaturas, uso de atmosfera modificada ou de aditivos químicos. Historicamente, o escurecimento enzimático tem sido controlado pela aplicação de sulfitos; entretanto, há uma necessidade de substituir sulfitos por outros métodos. Uma alternativa frequentemente estudada para essa substituição tem sido o ácido ascórbico (Laurila et al., 1998). Os sulfitos são altamente efetivos no controle do escurecimento, mas estão sujeitos a restrições devido aos efeitos adversos na saúde (Lindsay, 1996).

O escurecimento enzimático é um problema em um grande número de produtos importantes, especificamente frutas como maçãs, pêras, pêssegos, bananas, e uvas; hortaliças como batatas e alface. Essa mudança de cor limita a vida de prateleira de muitos produtos minimamente processados (Huxsoll et al., 1989).

Reações de escurecimento em frutas e hortaliças têm se tornado evidentes quando, por instância, o material é levado ao processamento ou sofre danos mecânicos. Para que ocorra o escurecimento enzimático são necessários quatro componentes: o oxigênio, uma enzima, o íon metálico cobre e um substrato. A enzima mais importante em produtos minimamente processados é a polifenoloxidase (PFO). Polifenoloxidase é um termo genérico para um grupo de enzimas que catalisam a oxidação de compostos fenólicos que produzem uma coloração escura nas superfícies cortadas de frutas e hortaliças. A polifenoloxidase é uma *o*-difenoil-oxigênio oxidoreductase com especificidade de substratos diidroxifenóis. Tem pH e temperatura ótimos, respectivamente, entre 5 e 8 e entre 25 °C e 35 °C (Fujita et al., 1991). Encontra-se presente na alface

em diferentes conformações e massas molares nos tecidos vasculares e nos que realizam a fotossíntese (Heimdal et al., 1995). Durante algumas etapas do processamento mínimo há rompimento de membranas celulares, substratos entram em contato com enzimas de oxidação. Na presença de oxigênio, o escurecimento ocorre rapidamente devido à oxidação enzimática de fenóis a ortoquinonas que rapidamente polimerizam para formar pigmentos escuros como as melaninas (Laurila et al., 1998).

As enzimas peroxidase e polifenol oxidase catalisam mais que uma reação e agem sobre um vasto número de substratos, não apenas causando o escurecimento dos vegetais, mas também produzindo odores desagradáveis e perdas nutricionais. A peroxidase é uma enzima vegetal associada aos sabores e aromas indesejáveis em frutas e hortaliças. A inativação dessa enzima é considerada necessária para minimizar a possibilidade de deterioração (Nojosa et al., 2003).

No caso dos produtos minimamente processados, os tratamentos químicos devem ser usados de maneira que as frutas e hortaliças não percam os atributos de qualidade como textura, sabor, aroma e aparência. Várias alternativas têm sido adotadas com o uso de dióxido sulfúrico, incluindo agentes redutores, acidulantes, agentes quelantes e sais inorgânicos (Ponce et al., 2004).

Os fatores mais importantes que determinam a taxa de escurecimento de frutas e hortaliças são a concentração de polifenoloxidase ativa e compostos fenólicos presentes, o pH, a temperatura e a disponibilidade de oxigênio do tecido (Laurila et al., 1998). A taxa de escurecimento enzimático em hortaliças minimamente processadas varia de acordo com os fatores pré e pós-colheita (Laurila et al., 1998).

Kang & Saltveit (2003) observaram que imersão de alface processada em soluções aquosas hipertônicas reduziu o acúmulo de compostos fenólicos de maneira consistente com uma tolerância produzida pelo estresse,

preferencialmente a perda de uma porção do sinal do ferimento por meio de fluxo de água das células do tecido.

O armazenamento correto e apropriado de hortaliças e a toaleta cuidadosa feita antes do processamento são vitais para o preparo de hortaliças de boa qualidade (Laurila et al., 1998; Wiley, 1994). A estabilidade de alface processada é afetada pela maneira como é cortada. Em alguns trabalhos, verificam-se os efeitos de lâminas afiadas sobre a vida de prateleira, demonstrando que o uso desses equipamentos contribui para uma maior vida de prateleira (Bolin et al., 1977; Laurila et al., 1998).

2.3.4 Clorofila

A molécula de clorofila tem a capacidade única de converter energia do sol em energia química (fotossíntese). Nesse processo, a energia da luz é usada pelas plantas na síntese de carboidratos. Nas células do vegetal, as moléculas de clorofila estão localizadas nos cloroplastos, nos quais há proteção de proteínas e lipídios associados a suas moléculas, que funcionam como barreiras contra o efeito de componentes celulares destrutivos da clorofila. Nos cloroplastos, juntamente com a clorofila, é encontrada outra classe de pigmentos, os carotenóides (Seibold, 1990).

Quimicamente, a clorofila é um composto heterocíclico com estrutura tetra-pirrólica chamado porfirina, que ocorre numa variedade de moléculas orgânicas naturais. É uma mistura de duas substâncias relacionadas, *clorofila a* (verde azulada) e *clorofila b* (verde amarelada), que se encontram sempre na proporção 1:3 (clorofila a/clorofila b). A única diferença entre as duas clorofilas é que a metila (-CH₃) na cadeia lateral da *clorofila a* é substituída por um grupo formila (-CHO) na *clorofila b*. O grupo mais interessante de moléculas que contém anéis pirrólicos (porfirinas) é o dos que estão envolvidos na respiração

celular ou no transporte ou consumo de oxigênio (como hemoglobina, mioglobina e citocromos) (Miranda, 2002).

As clorofilas são encontradas naturalmente nas folhas verdes de plantas e são hidrossolúveis. A estabilidade na presença de calor, luz e oxigênio é elevada, mas é baixa diante de mudanças de pH (Miranda, 2002).

O íon magnésio das clorofilas é facilmente eliminado por reação com ácidos fracos, resultando dessa reação a feofitina, de cor verde-oliva, insolúvel em água. Enzimas presentes nos vegetais, como a clorofilase, hidrolisam o grupo fitila, formando a clorofilida, verde, mais solúvel em água que a clorofila. Os produtos resultantes da perda do grupo fitila e do Mg^{2+} , os feoforbídeos, têm cor verde acastanhado e sofrem possivelmente transformações oxidativas (Figura 1) que dão origem a produtos incolores de degradação (Miller, 1996).

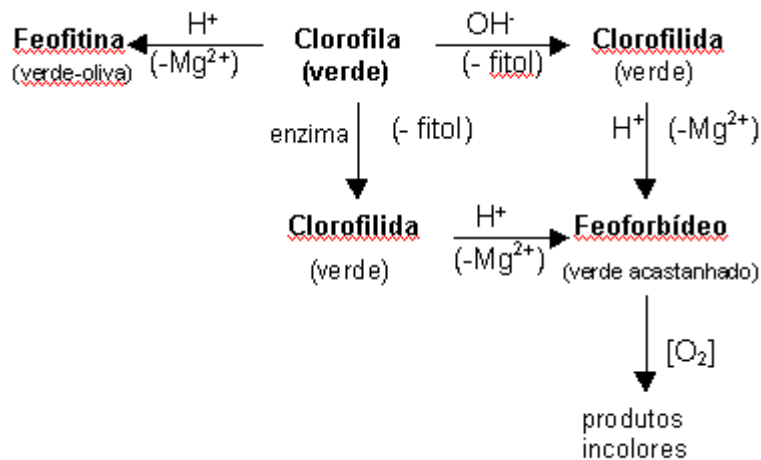


FIGURA 1 Transformações das clorofilas durante processamento e armazenamento (Miller, 1996).

Saltveit (2003) observou que altos níveis de CO_2 podem controlar o crescimento microbiano e reduzir a perda da clorofila. He & Lee (2004)

verificaram que o teor de clorofila em alface foi de 0,165 mg /100 g. Após o resfriamento a vácuo e duas semanas de armazenamento a baixa temperatura, o teor de clorofila de alface tratada pelas três taxas de pressão reduzida foram de 0,057 mg/100 g, 0,045 mg/100 g e 0,055 mg/100 g, respectivamente. A clorofila de alface do tratamento 4 foi de 0,060 mg/100 g, e ainda, o teor de clorofila de todos os tratamentos diminuiu muito rapidamente, e a perda média de clorofila foi de aproximadamente 66 % do valor inicial. Essa perda pode ser causada pela baixa temperatura e pouca luz durante o armazenamento.

2.4 Embalagem

O grande desafio na conservação das frutas e hortaliças minimamente processadas é a preservação de suas características mais próximas ao produto *in natura*, mantendo a qualidade e segurança microbiológica. O consumidor avalia importantes atributos como aparência de frescor, cor, sabor, aroma, além da conveniência e praticidade (Kader, 2002).

A embalagem é uma parte essencial do processamento e da distribuição dos alimentos e deve necessariamente proteger o produto de vários fatores prejudiciais, como estresses físicos, contaminação por microrganismos, insetos e roedores e, ainda, para mediar a permeação de componentes do ambiente, como gases e vapor de água. O controle do etileno, gás carbônico, oxigênio e outros compostos voláteis, que podem ser produzidos durante o armazenamento como etanol e acetaldeído, é importante para a manutenção da qualidade dos produtos minimamente processados (Saltveit, 1997).

Recentemente novos conceitos de embalagem têm sido desenvolvidos para atender os consumidores. Sabe-se que o sucesso de uma embalagem está relacionado, também, à facilidade de uso e conveniência para o consumidor, além da habilidade de informar as características do produto (Kader, 2002).

Muitos tipos de filmes estão disponíveis no mercado para uso em produtos minimamente processados. As embalagens utilizadas para a comercialização de vegetais minimamente processados podem ser do tipo bandejas plásticas ou de poliestireno (isopor) com tampas ou envoltas em filmes plásticos e sacos plásticos de diferentes composições. Policloreto de vinila (PVC), polipropileno (PP) e polietileno (PE) são filmes plásticos largamente utilizados nas embalagens de produtos minimamente processados. Existem alguns filmes, como o etileno vinil acetato (EVA), que podem ser manufaturados com diferentes taxas de transmissões de gases (Kader, 2002).

Objetivando a adequação da permeabilidade da embalagem às necessidades do produto, polímeros impermeáveis, com áreas de permeação seletiva, vêm sendo utilizados. Essas áreas são recobertas com membranas permeáveis para modificar a atmosfera no interior da embalagem. As membranas seletivas são produzidas com base em variações na composição das cadeias laterais de determinados polímeros, causando uma mudança na estrutura cristalina para amorfa, numa faixa de temperatura normalmente utilizada na comercialização dos produtos minimamente processados. Assim, ao submeter a embalagem contendo a membrana à temperatura de armazenamento, ocorrerá naquela área, uma maior permeabilidade aos gases, comparado ao restante da embalagem (Stewart et al., 1993). Uma alternativa que vem sendo usada são os filmes microperfurados, cuja área perfurada aumenta a permeabilidade do filme a gases, mantendo uma atmosfera adequada ao redor do produto para sua conservação (Zagory, 2000).

2.5 Atmosfera modificada

O uso das atmosferas modificada e controlada tem crescido nos últimos 50 anos, contribuindo significativamente para estender a vida pós-colheita e manter a qualidade de várias frutas e hortaliças. Essa tentativa é um dos avanços

tecnológicos que têm sido feitos para alcançar e manter a atmosfera modificada do produto fresco (Kader, 2002).

Na modificação da atmosfera realiza-se uma combinação entre os fatores que influenciam a permeabilidade das embalagens e a respiração do produto, com o objetivo de atingir uma atmosfera de equilíbrio ótima para a conservação do produto (Day, 1993). Esse equilíbrio é atingido quando a respiração do produto consome a mesma quantidade de O_2 que entra na embalagem e a produção de CO_2 pela respiração é igual à quantidade que deixa a embalagem (Day, 1993).

Com a modificação da atmosfera nas embalagens contendo produtos minimamente processados, objetiva-se a criação de uma composição gasosa na embalagem, que pode ser alcançada de forma passiva ou ativa. O propósito de ambos os princípios é criar uma concentração ótima de gases no interior da embalagem, na qual a atividade respiratória do produto seja mínima e o produto não sofra injúrias devido aos níveis de oxigênio e gás carbônico (Ahvenainen, 1996; Kader, 2002).

A modificação passiva ocorre quando, ao acondicionar o produto em embalagens plásticas, a composição gasosa no interior da embalagem é modificada por alguns fatores como taxa respiratória do produto, taxa de permeabilidade da embalagem, área da embalagem, massa do produto e, principalmente, temperatura de armazenamento. A concentração de oxigênio tende a diminuir e a de gás carbônico aumentar, formando, assim, uma atmosfera diferente daquela inicialmente presente, o ar. No entanto, é importante evitar baixos níveis de O_2 e níveis elevados de CO_2 , que levam à respiração anaeróbica, desenvolvendo odores indesejáveis e aumentando a velocidade de deterioração. Outros gases podem se formar devido a processos de anaerobiose, principalmente, em produtos com alta taxa de respiração e

aconicionados em embalagens com baixa permeabilidade a gases (Hintlian & Hotckiss, 1986).

Em atmosfera modificada ou atmosfera controlada, os gases são removidos ou adicionados para criar uma composição atmosférica ao redor do produto diferente do ar (78,08% de N₂, 20,95% de O₂ e 0,03% de CO₂). Usualmente essa atmosfera envolve a redução das concentrações de oxigênio (O₂) e/ou elevação de dióxido de carbono (CO₂). A atmosfera modificada difere da atmosfera controlada apenas no grau de controle, sendo a segunda mais exata (Kader, 2002).

Segundo Exama et al. (1993), a modificação de atmosfera é criada naturalmente no interior de uma embalagem selada, como resultado direto do contrabalanço direto entre o consumo O₂ e a produção de CO₂ pela respiração, com a permeação desses gases através da embalagem.

O uso da atmosfera modificada, bem como da atmosfera controlada, deve ser considerado como suplemento do monitoramento da umidade relativa e temperatura apropriadas. O potencial para o benefício ou prejuízo do uso da atmosfera modificada depende do produto, da cultivar, da idade fisiológica, composição atmosférica, temperatura e duração do armazenamento. Isso ajuda a explicar a ampla variabilidade nos resultados entre as publicações para atmosferas modificada e controlada usadas em um determinado produto (Kader, 2002; Watada et al., 1996).

Esforços continuados para desenvolver a tecnologia de atmosfera modificada têm permitido seu uso crescente durante o transporte, o armazenamento temporário ou longo dos produtos hortícolas destinados para o mercado fresco ou processamento. O uso da atmosfera modificada atenua certas desordens fisiológicas tais como dano por frio de vários produtos e *russet spotting* em alface (Kader, 2002).

Em muitos casos, a diferença entre as combinações benéficas e prejudiciais é relativamente pequena. Combinações de gases que são necessárias para controlar a deterioração ou ataque de insetos nem sempre podem ser toleradas pelo produto e podem resultar em uma deterioração mais rápida, podendo ocorrer manchas amarronzadas em alface (Kader, 2002).

A atmosfera modificada ativa consiste em, durante o processo de acondicionamento do produto, realizar a remoção parcial ou total do ar do interior da embalagem e injetar uma mistura gasosa. Essa mistura é composta da associação dos gases O_2 , CO_2 e N_2 em proporções adequadas a cada produto (Cameron et al., 1995; Exama et al., 1993).

Além de diminuir a taxa respiratória dos vegetais, a modificação da atmosfera contribui para diminuir o escurecimento dos vegetais, devido à baixa disponibilidade de oxigênio. Para alface minimamente processada, a descoloração das superfícies das folhas é o maior defeito. O corte estimula enzimas envolvidas nas reações de escurecimento levando à formação de pigmentos escuros. Alface minimamente processada, acondicionada em polietileno de baixa densidade (80 μm), numa atmosfera 80% O_2 : 20% CO_2 estocada a 5 °C, teve o escurecimento inibido até o 10º dia (Heimdal et al., 1995). No entanto, segundo Cantwell (2000), numa atmosfera composta de baixos teores de O_2 (<0,5%) e altos de CO_2 (>7%) são usados comercialmente.

Em alguns sistemas de atmosfera modificada, após algum tempo, atinge-se um estado de equilíbrio, onde a concentração O_2 e CO_2 se mantém constante. Em pesquisas com atmosfera modificada, visa-se a determinar filmes que tenham uma permeabilidade que, combinada com a taxa respiratória do produto, permitam, no estado de equilíbrio, a manutenção de uma microatmosfera em torno do produto, na qual o benefício para conservação seja máxima (Cameron et al., 1995; Exama et al., 1993).

A diminuição da concentração de O_2 no interior da embalagem reduz a respiração do produto, porém níveis muito baixos podem levar o produto a condições de anaerobiose. Esse ambiente ocasiona distúrbios fisiológicos que levam a alterações sensoriais do produto (odores desagradáveis, amarelecimento, perda de textura) e colocam a saúde do consumidor em risco (Hintlian & Hotchkiss, 1986; Kader, 2002).

A menor concentração de O_2 para a qual a produção de CO_2 é mínima é conhecida como ponto de compensação anaeróbica (Boersig et al., 1988) e indica o menor nível de O_2 no qual frutas e hortaliças podem ser estocados sem que entrem em anaerobiose (Leshuk & Saltveit Jr, 1990).

Yang & Chinnan (1988) sugeriram que os princípios da cinética enzimática podem ser utilizados apropriadamente para a modelagem da respiração de produtos. Vários autores (Cameron et al., 1994; Lee et al., 1995) têm reconhecido as vantagens do emprego da equação de Michaelis-Menten para descrever o consumo de O_2 na respiração em virtude da concentração de O_2 . Devido às dificuldades em determinar os níveis internos de oxigênio em frutas e hortaliças, tem-se utilizado uma aproximação da constante de Michaelis-Menten (K_m) em que se avalia a velocidade da reação considerando os níveis externos, conhecido como $K_{1/2}$ (Cameron et al., 1994; Cameron et al., 1995).

Os benefícios da atmosfera modificada são relatados na literatura tanto para produtos frescos quanto cortados. Floretes de brócolis, quando conservado sob uma atmosfera contendo aproximadamente 3 % O_2 e 9 % CO_2 , mantiveram o seu conteúdo de clorofila e ácido ascórbico e a atividade da peroxidase se manteve reduzida (Barth et al., 1993); a alface minimamente processada teve a atividade da polifenoloxidase (PPO) diminuída quando conservada em atmosfera modificada (Heimdal et al., 1995).

A modificação de atmosfera é uma técnica de conservação em que a concentração de gases em torno do alimento é alterada pela utilização de uma

embalagem semi-permeável (Lee et al., 1995). Na modificação de atmosfera a concentração de O₂ é reduzida e a de CO₂ aumentada, o que reduz a taxa respiratória, a produção de etileno e aumenta a vida de prateleira do produto.

2.6 Temperatura

A temperatura tem um dos mais pronunciados efeitos sobre a vida de prateleira de produtos minimamente processados. Alface minimamente processada, quando armazenada a 2 °C, permaneceu comercializável durante 26 dias, ao passo que a 10 °C a sua vida de prateleira foi de 10 dias (Bolin et al., 1977).

A forma mais comum de se contornarem as alterações causadas pelos danos mecânicos sofridos é um estrito controle de temperatura. Quanto maior o grau de processamento do produto, maior a indução de sua atividade respiratória. As taxas de respiração e de deterioração podem ser minimizadas pela rápida redução da temperatura do produto e armazenamento a 5 °C (Cantwell, 2000).

Quando a temperatura aumenta de 0 para 10 °C, a taxa respiratória aumenta substancialmente. Watada et al. (1996), estudando o efeito do aumento da temperatura sobre a taxa respiratória de produtos minimamente processados, observaram aumentos de 3,4 a 8,3 vezes na taxa respiratória para cada acréscimo de 10 °C na temperatura de armazenamento.

Na tentativa de diminuir a atividade metabólica, os produtos minimamente processados normalmente são armazenados sob refrigeração. A refrigeração também permite diminuir o crescimento microbiano e as alterações bioquímicas, ampliando o prazo de conservação dos alimentos. Reações metabólicas, entre elas a respiração, são reduzidas em duas a três vezes, para cada decréscimo de 10 °C na temperatura, o que permite retardar a maturação e a senescência do produto (Brecht, 1995; Cantwell, 2000).

Os efeitos da temperatura sobre reações químicas, inclusive taxa respiratória, tradicionalmente são quantificados pelo Q_{10} , que é um coeficiente pelo qual se verifica quantas vezes aumenta a velocidade de uma reação a cada acréscimo de 10 °C na temperatura. O efeito da temperatura também pode ser quantificado por meio do modelo de Arrhenius, no qual o efeito do aumento da temperatura é dado pela energia de ativação (E_a) (Cameron et al., 1995).

A temperatura de armazenamento é de suprema importância para a evolução de qualidade visual e microbiológica de produtos minimamente processados. O conhecimento sobre as condições de tempo e temperatura na cadeia de frio para produtos minimamente processados é necessário para determinar a influência da cadeia de frio real na perda de qualidade e a vida de prateleira destes produtos (Cortez et al., 2002).

O Brasil não tem meios suficientes para um armazenamento a frio satisfatório, o que torna um empecilho à comercialização de frutas e hortaliças. Entretanto, na década de 70, o governo criou programas que davam suporte na área de refrigeração, dos quais, alguns nem chegaram a ser implementados (Cortez et al., 2002).

Alguns trabalhos têm sido realizados neste sentido em postos de vendas de frutas e hortaliças, como supermercados e “sacolões”. Em um trabalho recente, verificou-se que as temperaturas das gôndolas e dos produtos minimamente processados estavam muito acima das temperaturas ideais ou até mesmo das desejadas. Esse problema já deveria ter sido contornado, principalmente para esses produtos que dependem de baixa temperatura para continuarem vivos após terem passado pelas etapas do processamento (Moretti, 2004).

2.7 Mercado

A forma tradicional de comercializar frutas e hortaliças (*in natura*) não tem sido suficiente para satisfazer as necessidades de alguns consumidores que preferem produtos de boa qualidade e prontos para o consumo. Por essa razão, a indústria de frutas e hortaliças minimamente processadas teve um rápido crescimento nas últimas décadas, contribuindo com 25% das vendas do mercado de alimentos (IFPA, 1999).

Um dos fatores importantes que tem influído na demanda desses produtos é a participação da mulher no mercado de trabalho, o que tem provocado um aumento nas refeições fora de casa e a busca de alimentos prontos para serem consumidos, diminuindo tempo e esforço. Os Estados Unidos e a Europa são as regiões que têm apresentado um maior desenvolvimento no mercado de frutas e hortaliças minimamente processadas, embora nessas regiões haja um número de produtos limitado, os quais são produzidos em outros países. É possível que, por essa razão, o processamento de frutas tropicais e subtropicais nessas regiões seja pequeno, sendo possível um aumento na demanda dos produtos do Brasil (Rojo & Saabor, 2002).

Existem alguns fatores que influem no consumo de produtos minimamente processados, como a idade e o tamanho de uma família. Pessoas com idade entre 35 e 54 anos representam cerca de 45% do total da população que podem comprar esse tipo de produto, seguidos por 31% de pessoas entre 18 e 34 anos e uma porcentagem menor, cerca de 24% para pessoas maiores de 55 anos. As famílias que consomem produtos minimamente processados, são em sua maioria aquelas que têm 2 a 3 pessoas, cerca de 53% (Rojo & Saabor, 2003).

Os principais produtos que têm sido explorados e que apresentam um mercado estável para a indústria de minimamente processados são as hortaliças, como alface, couve, pimentões, cenoura, brócoli, entre outras. Na América Latina, a indústria de minimamente processados ainda está em desenvolvimento,

quando comparada à Europa e aos Estados Unidos, onde o negócio é bastante rentável (Rojo & Saabor, 2002).

Em 2003 o crescimento do negócio de saladas minimamente processadas nos EUA foi ao redor de 9%, com vendas estimadas em 2,3 bilhões de dólares. As saladas oferecidas no mercado americano de hoje lembram muito pouco aquelas que eram comercializadas há cinco ou dez anos. As empresas atualmente oferecem uma grande variedade de saladas de folhosas com kits combinados com tomate cereja, torradas (“*croutons*”) e molhos variados. Todavia, à medida que o mercado americano parece vivenciar uma nova onda de crescimento, problemas antigos como consistência na qualidade ainda precisam ser solucionados. A solução para o sucesso, segundo alguns processadores e supermercadistas, é ter a certeza de fornecer ao cliente o que ele está procurando toda vez que consumir uma salada minimamente processada (Moretti, 2004).

Outra forte tendência observada em diferentes países europeus e em países da Oceania é a associação entre o consumo de hortaliças minimamente processadas com hábitos salutarres de vida, como o programa “*5 a day*”, que preconiza o consumo de pelo menos 5 porções de frutas e/ou hortaliças por dia para uma vida saudável. Os processadores estão também investindo na produção de “*snacks*” ou tira-gostos feitos com hortaliças minimamente processadas. Segundo os proprietários da River Ranch, uma empresa americana sediada na Califórnia, o consumidor americano prefere consumir “*snacks*” naturais a industrializados quando estão assistindo TV ou em reunião com amigos. Foi com base nessa constatação que a empresa passou a desenvolver novos produtos voltados para esse público, contribuindo para um crescimento significativo em seu faturamento (Moretti, 2004).

A América Latina é a região onde a produção de frutas tropicais é uma das principais atividades econômicas. A indústria de minimamente processados

não tem crescido tanto nessa região em decorrência da falta de costume do consumidor a esse tipo de produto e ao poder aquisitivo da população quando comparado à população das regiões norte-americanas e européias (Rojo & Saabor, 2003).

Enquanto isso, no Brasil, verifica-se que o setor de minimamente processados, ainda ocorre retração quando se trata de expansão dos mercados. Verifica-se que a comercialização desses produtos está praticamente circunscrita a médios e grandes centros urbanos como São Paulo, Belo Horizonte, Brasília, Rio de Janeiro e algumas capitais das Regiões Nordeste e Sul do Brasil. No estado de São Paulo verificou-se, em pesquisa realizada em 2001, que do total de frutas e hortaliças consumidas nos lares somente 2,9% são na forma minimamente processada. Os números também variam em função da classe econômica dos entrevistados. Aproximadamente 4% dos consumidores das faixas A e B afirmaram comprar alguma fruta ou hortaliça na forma minimamente processada. Por meio desses números, verifica-se uma maior preferência das classes de maior renda pelos produtos minimamente processados, que são comercializados em 92% dos hipermercados do estado de São Paulo. No que diz respeito à tendência de vendas, em média, 66% dos gerentes de supermercados paulistas afirmaram que vislumbram um crescimento de vendas para esse tipo de produto (Rojo & Saabor, 2002).

Ainda segundo esses supermercadistas paulistas, um dos principais entraves ao maior crescimento desse segmento é o ainda elevado preço praticado, aliado à pouca variedade e um restrito número de empresas que têm a capacidade de manter qualidade com constância e volume (Rojo & Saabor, 2002). Já em Belo Horizonte, a aceitação dos minimamente processados é crescente, mas representando apenas 1% do consumo de frutas e hortaliças em supermercados da capital mineira. Os principais consumidores são pertencentes às classes A e B e da faixa etária de 18 a 34 anos (Rojo & Saabor, 2003).

Apesar de todas as conquistas obtidas nesses últimos anos, não há dúvida de que muito ainda precisa ser feito. Entraves tecnológicos como o escurecimento enzimático e o esbranquiçamento de algumas folhosas, raízes e tubérculos, a inadequação de filmes plásticos ou mesmo de combinações de gases para o acondicionamento de hortaliças, a existência de agroindústrias operando sem o mínimo de condições higiênicas, o desconhecimento tanto por parte de processadores quanto de supermercadistas da importância da manutenção da cadeia do frio e o desenvolvimento de novos produtos e ferramentas de comercialização são desafios que estão por ser vencidos pelos diversos atores envolvidos com a atividade de processamento mínimo de hortaliças no Brasil (Moretti, 2004).

O estado onde se tem observado um crescimento da atividade de processamento mínimo de hortaliças é São Paulo, onde uma gama diversificada de hortaliças com alto valor agregado tem sido minimamente processada por pequenas agroindústrias familiares. O mercado paulista para esses produtos é promissor, pois o Estado possui um parque industrial repleto de indústrias de preparo de refeições, à procura de modernização e produtos convenientes e seguros. Além disso, o mercado varejista já tem mostrado que é capaz de superar todas as expectativas (Rojo & Saabor, 2003).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K.; WATADA, A. E. Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 6, p. 1589-1592, Nov./Dec. 1991.

ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. **Ethylene in plant biology**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1992.

AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Trends Food Science and Technology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 179-187, June 1996.

BARRET, D. M. Special treatments to maintain in product quality. In: UC Davis, **Postharvest Technology**. Fresh-cut products: maintaining quality and safety, 2000. p. 6-7.

BARTH, M. M.; KERBEL, S. L.; BROUSSARD, S.; SCHIMIDT, S. J. Modified atmosphere packing protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, n. 5, p. 1070-1072, Sept./Oct. 1993.

BOERSIG, M. R.; KADER, A. A.; ROMANI, R. J. Aerobic-anaerobic respiratory transition in pear fruit and cultured pear fruit cells. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, n. 6, p. 869-873, Nov. 1988.

BOLIN, H. R.; STAFFORD, A. D.; KING JR., A. D.; HUXSOLL, C. C. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 42, n. 5, p. 1319-1321, Sept./Oct. 1977.

CASTAÑER, M.; GIL, M.I.; ARTES, F.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A. Inhibition of browning of harvested head lettuce. **Journal of Food Science**, Chicago, v.61, n.2, p.314-316, 1996.

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-22, Feb. 1995.

CAMERON, A. C.; BEAUDRY, R. M.; BANKS, N. H.; YELANICH, M. V. Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit, modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, n. 3, p. 534-539, May 1994.

CAMERON, A. C.; TALASILA, P. C.; JOLES, D. W. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria. v. 30, n. 1, p. 25-34, Feb. 1995.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems, minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2. ed. Davis: University of California. Division of horticultural and natural resources, 1992. p. 277-281.

CANTWELL, M. Preparation and quality of fresh cut produce. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., Viçosa, 2000. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2000. p. 156-182.

COOK, R. The U. S. food industry: some keys trends and marketing strategies. **Perishables Handling Newsletter**, Orlando, v. 89, p. 2-5, 1997.

CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; NEVES FILHO, L. de C.; MORETTI, C. L. Importância do resfriamento para frutas e hortaliças no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Brasília, 2002. v. 1, p. 16-31.

DAY, B. P. F. Fruits and vegetables. In: PARRY, R. T. (Ed.). **Principles and applications of modified atmosphere packaging of food**. London: Chapman e Hall, 1993. p. 114-133.

EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R. W.; LEE, L. Z. e TOUPIN, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, n. 6, 1365-1370, Nov./Dec. 1993.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura** - agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa-MG : Editora UFV, 2000. v. 5000. p. 402.

FUJITA, S.; TONO, T.; KAWAHARA, H. Purification and properties of polyphenol oxidase from head lettuce (*Lactuca sativa*). **Journal of Science Food Agriculture**, London, v. 55, n. 4, p. 643-651, 1991.

GORNY, J. R. Modified atmosphere packaging and the fresh-cut revolution. **Perishables Handling Newsletter**, Orlando, v. 90, p. 4-5, 1997.

HE, J.; LEE, S. K. Photosynthetic Utilization of Radiant Energy by Temperate Lettuce Grown Under Natural Tropical Condition with Manipulation of Root-Zone Temperature. **Photosynthetica**, Prague, v. 42, n. 3, p. 457-463, 2004.

HEIMDAL, H.; KÜHN, B. F.; POLL, L.; LARSEN, L. M. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA-packaged iceberg lettuce. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 6, p. 1265-1268, 1276, Nov./Dec. 1995.

HINTLIAN, C. B.; HOTCHKISS, J. H. The safety of modified atmosphere packaging, A Review. **Food Technology**, Chicago, v. 4, n. 12, p. 70-76, Dec. 1986.

HUXSOLL, C. C.; BOLIN, H. R. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 43, n. 2, p. 124-128, Feb. 1989.

IFPA. **Fresh-cut produce handling guidelines**. 3. ed. Newark: Produce Marketing Association, 1999. 39 p.

KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 535 p. (Publication 3311).

KANG, H.; SALTVEIT, M. E. Wound-induced increases in phenolic content of fresh-cut lettuce is reduced by a short immersion in aqueous hypertonic solutions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 271-277, Sept. 2003.

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 76, n. 2, p. 412-418, Oct. 1989.

KING, A. D.; BOLIN, H. R. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 43, n. 2, p. 132-139, Feb. 1989.

KLEIN, B. P. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 10, n. 3, p. 179-193, 1987.

LAMBRECHT, H. S. sulfite substitutes for the prevention of enzymatic browning in foods. In: LEE, C. Y.; WHITAKER, J. R. **Enzymatic browning and its prevention**. California: American Chemical Society, 1995. p. 49-61.

LAURILA, E.; KERVINEN, R.; AHVENAINEN, R. The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. **Postharvest News and Information**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 53-66, Feb. 1998.

LEE, L.; ARUL, J.; LENCKI, R.; CASTAIGNE, F. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects - part 1. **Packaging Technology Science**, Chicago, v. 8, p. 315-331, 1995.

LESHUK, J. A.; SALVEIT Jr., M. E. A simple system for the rapid determination of the anaerobic compensation point of plant tissue. **Hortscience**, Alexandria, v. 25, n. 4, p. 480-482, Apr. 1990.

LINDSAY, R. C. Food Additives. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Dekker, 1996. Cap. 12, p. 767-824.

MALUF, W. R. **Produção de hortaliças – I**. Lavras: Departamento de Agricultura, 1996. 58 p.

MATTHEWS, R. H.; MCCARTHY, M. A. Nutritional quality of fruits and vegetables subject to minimal processing. In: WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 313-326.

MEIRELLES, J. C. S. **Classificação de alface**. São Paulo: Horti & Fruti, 1998. (Folders).

MENCARELLI, F.; SALTVEIT, M. E.; MASSANTINI, R. Lightly processed foods: Ripening of tomato fruit slices. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 244, p. 193-200, 1989.

MILLER, D. D. Minerals. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Dekker, 1996. Cap. 9, p. 617-649.

MIRANDA, M. Z. de. **Nota de esclarecimento sobre suco obtido a partir de folhas jovens de trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 20 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online; 15). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do15.htm>. Acesso em: 15 jul. 2002.

MORETTI, C. L. Panorama do processamento mínimo de hortaliças. In: ENCONTRO SOBRE MINIMAMENTE PROCESSADOS, 2., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004.

MORETTI, C. L.; SILVA, W. L.; ARAUJO, A. L. Quality attributes and carbon dioxide evolution of bell peppers as affected by minimal processing and storage temperature. **Proceedings of The Florida State Horticultural Society**, Orlando, v. 113, n. 1, p. 156-159, 2000.

NOJOSA, G. B. A.; RESENDE, M. L. V.; AGUILAR, M. A. G.; BEZERRA, K. M. T.; ANHERT, D. A. Componentes Fenólicos e Enzimas Oxidativas em Clones de *Theobroma cacao* Resistentes e Suscetíveis a *Crinipellis pernicioso*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 148-154, mar./abr. 2003.

PONCE, A. G.; VALLE, C. E. del; ROURA, S. I. **Natural essential oils as reducing agents of peroxidase activity in leafy vegetables**, 2004.

REYES, V. G. improved preservation systems for minimally processed vegetables. **Food Australia**, Sydney, v. 48, n. 2, p. 87-90, Feb. 1996.

RODRIGUEZ, M. T.; GONZÁLES, M. P.; LINARES, J. M. Degradation of chlorophyll and chlorophyllase activity in senescing barley leaves. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 129, n. 3/4, p. 369-374, Aug. 1987.

ROJO, F.; SAABOR, A. Aceitação dos pré-processados é pequena mas cresce entre consumidores esclarecidos. **FruitFatos**, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 15, 2003.

ROJO, F.; SAABOR, A. Praticidade impulsiona a venda de pré - processados. **FruitFatos**. v. 2, n. 2, p. 42-44, 2002.

RONK, R. J.; CARSON, K. L.; THOMPSON, P. Processing, packaging, and regulation of minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 43, n. 2, p. 136-139, Feb. 1989.

ROSEN, J. C.; KADER, A. A. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 3, p. 656-659, May/June 1989.

SABATER, B.; RODRIGUEZ, M. T. Control of chlorophyll degradation in detached leaves of barley and oat through effect of kinetin on chlorophyllase levels. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 43, n. 3, p. 274-276. 1978.

SALTVEIT, M. E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 279-292, Mar. 1999.

SALTVEIT, M. E. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ROBINS, R. J. (Ed.), **Phytochemistry of fruit and vegetables**. London: Oxford University Press, 1997. p. 205-220.

SALTVEIT, M. E. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 3-13, Jan. 2003.

SEIBOLD, R. L. (Ed.) **Cereal grass: what's in it for you!** The importance of wheat grass, barley grass and other vegetables in the human diet. Lawrence (Kansas): Wilderness Community Education Foundation, 1990.

STEWART, R. F.; MOHR, J. M.; BUDD, A.; PHAN, L. X.; ARUL, J. Temperature-Compensating Films for Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce. In: EL-NOKALY, M. A.; PIATT, D. M.; CHARPENTIER, B. A. (Ed.). **Polymeric delivery systems**. Washington DC: American Chemical Society, 1993. p. 232-243. (ACS Symposium series; 520).

TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; GIL, M. I.; CASTAÑER, M.; ARTÉS, F.; SALTVEIT, M. E. Effect of Selected Browning Inhibitors on Phenolic Metabolism in Stem Tissue of Harvested Lettuce. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 3, p. 583-589, Mar. 1997.

VAROQUAUX, P.; WILEY, R. C. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. Chapman & Hall, New York-London, 1994. p. 226-268.

WARTON, M. A.; WILLS, R. B. H. Survey of storage conditions and quality of minimally processed packaged lettuce in supermarkets. **Food Australia**, Sydney, v. 54, n. 5, p. 191-192, May 2002.

WATADA, A. E.; ABE, K.; YAMAUCHI, N. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 44, n. 5, p. 116, 118, 120-122, May 1990.

WATADA, A. E.; KO, N. P.; MINOTT, D. A. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 9, n. 2, p. 115-125, Nov. 1996.

WATADA, A. E.; QI, L. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 201-205, Mar. 1999.

WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. London: Chapman & Hall, 1994. 357 p.

WILLS, R. B. H. ; KU, V. V. V.; SHOHET, D.; KIM, G. H. Importance of low ethylene levels to delay senescence of non-climacteric fruit and vegetables. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 39, n. 2, p. 221-224, 1999.

YAMAUCHI, N.; WATADA, A. E. Regulated chlorophyll degradation in spinach leaves during storage. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 116, n. 1, p. 58-62, Jan. 1991.

YANG, C. C.; CHINNAN, M. S. Modelling effect of O₂ e CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 3, p. 920, May/June 1988.

ZAGORY, D. What modified atmosphere packaging can and can't do for you. In: ANNUAL POSTHARVEST CONFERENCE & TRADE SHOW, 16., 2000. Washington. **Annual...** Washington: State University 2000.

CAPÍTULO 2

ATIVIDADE RESPIRATÓRIA E EVOLUÇÃO DE ETILENO EM ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA SOB DUAS TEMPERATURAS

RESUMO

MATTOS, Leonora Mansur. Atividade respiratória e evolução de etileno em alface crespa minimamente processada armazenada sob duas temperaturas. In: **Alface crespa minimamente processada: embalagem sob diferentes sistemas de atmosfera modificada e armazenamento refrigerado**. 2005. 136 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

O processamento mínimo de hortaliças envolve operações que ocasionam diversas alterações metabólicas no tecido processado, como elevação da atividade respiratória e evolução de etileno. A respiração é um processo complexo pelo qual reações químicas oxidam compostos orgânicos a dióxido de carbono e água para produção de energia. O aumento na evolução de etileno é, também, de extrema importância e pode ser observado em hortaliças submetidas ao processamento mínimo. No presente trabalho, estudaram-se as características dos efeitos fisiológicos desencadeados pelo processamento mínimo de alface, visando a conhecer a melhor temperatura e o corte de maior estresse para o armazenamento da alface minimamente processada. Verificou-se que, após o processamento mínimo, as taxas respiratórias eram estatisticamente iguais tanto para os materiais processados a 5 e 10 mm quanto para a alface processada como folha inteira. Por essa observação, verifica-se que o armazenamento a temperaturas inferiores (5 °C) reduz de forma mais rápida o metabolismo respiratório quando se compara com outra situação em que há temperatura mais elevada (10 °C). O perfil da curva da alface processada a 10 mm foi o mesmo para as duas temperaturas estudadas, diferindo apenas nos valores, que foram mais altos, conforme esperado, para a temperatura de 10 °C. Pode-se observar que o armazenamento à temperatura de 5 °C foi capaz de reduzir a evolução de etileno para o material processado a 10 mm, mas não para o processado a 5 mm nas duas primeiras horas após o processamento mínimo. Concluiu-se que a melhor temperatura para o armazenamento da alface minimamente processada foi de 5 °C e o produto processado como folha inteira apresentou menor taxa respiratória e elevação de etileno.

* Comitê orientador: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Orientador), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Orientador), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

ABSTRACT

MATTOS, Leonora Mansur. Respiratory activity and ethylene evolution of fresh-cut crisphead lettuce stored under two temperatures. In: **Minimally processed crisphead lettuce: packed under different modified atmosphere systems and refrigerated storage**. 2005. 136 p. Thesis (Doctorate in Food Science)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Fresh-cut technology involves different operations that cause several metabolic alterations in the processed tissue such as increase in respiration rate and ethylene evolution. Respiration is a complex process in which organic compounds are oxidized to carbon dioxide and water, with energy release. Ethylene evolution is also very important and can be observed in fresh-cut vegetables crops. In the present work we studied the physiological effects associated with fresh-cut lettuce searching the best temperature for storage as well as how the stress caused by processing affects the product. It was observed that right after processing respiratory rates of the materials sliced at 5 and 10mm thick were statistically identical to the lettuce processed as whole leaves, showing that lower temperatures (5 °C) reduced metabolic alterations faster when compared to higher temperature conditions (10 °C). The trends observed for lettuce sliced at 10 mm were similar for both the studied temperatures although the material stored at 10 °C, as expected, had higher carbon dioxide evolution. Storage at 5 °C was capable of reducing ethylene evolution for lettuce sliced at 10 mm but not for the material sliced at 5 mm at the first 2-hour period. It was concluded that the best temperature for fresh-cut lettuce storage was 5 °C and the material processed as whole leaves showed the lowest levels of carbon dioxide and ethylene evolution.

* Guidance Committee: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Advisor), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Advisor), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

1 INTRODUÇÃO

O processamento mínimo de hortaliças envolve operações que ocasionam diversas alterações metabólicas no tecido processado. Elevação da atividade respiratória e evolução de etileno, aumento da atividade de enzimas, degradação, síntese e concomitante revelação de pigmentos, alterações de cor (escurecimento enzimático), sabor, aroma, textura e perda de qualidade nutricional, entre outros, são os principais processos fisiológicos e bioquímicos relacionados com o processamento mínimo de hortaliças (Cantwell, 1992). Os estresses mecânicos sofridos pelos tecidos induzem sinais que elicitam respostas fisiológicas e bioquímicas tanto em tecidos adjacentes quanto em tecidos distantes (Ke & Saltveit, 1989; Saltveit, 1997), sendo a elevação da atividade respiratória e da evolução de etileno eventos extremamente importantes (Klein, 1987; Matthews & McCarthy, 1994).

A respiração aeróbica é caracterizada pelo consumo de oxigênio (O_2) do ar e a liberação de CO_2 (Honório & Moretti, 2002). O conhecimento do nível mínimo de oxigênio necessário para a respiração aeróbica é muito importante para evitar que a via anaeróbica seja a via de respiração predominante, o que ocasiona a perda acelerada de qualidade do produto (Watada et al., 1996).

As taxas de respiração de frutas e hortaliças minimamente processadas no momento do corte são, em geral, quase 100% mais altas que a dos produtos intactos (Rosen & Kader, 1989; Varoquaux & Wiley, 1994; Watada et al., 1996). Em casos extremos, como o de cenouras raladas, a atividade respiratória pode chegar a valores ainda maiores (Varoquaux & Wiley, 1994).

A respiração é um processo complexo pelo qual reações químicas oxidam carboidratos e lipídeos a dióxido de carbono (CO_2) e água para produção de energia. Esse processo pode ser influenciado por fatores intrínsecos e

extrínsecos (Day, 1993). Entre os fatores intrínsecos são relevantes a espécie, a cultivar, o grau de maturidade, o tamanho do produto e o tipo de tecido. Já entre os fatores extrínsecos estão a temperatura, a concentração de oxigênio, dióxido de carbono e etileno e danos mecânicos (Day, 1993; Moretti et al., 2001).

O aumento na evolução de etileno é outro evento de extrema importância observada em hortaliças submetidas ao processamento mínimo. Tal elevação na produção de etileno ocorre em função dos estresses sofridos pelo tecido vegetal (Abeles et al., 1992). O etileno, quando se acumula no interior do produto ou no ambiente, promove o aumento da respiração, estimula diversos processos metabólicos e, conseqüentemente, reduz a vida útil da fruta ou da hortaliça (Honório & Moretti, 2002). O mesmo fenômeno é verificado em tecidos vegetais danificados (Laties, 1978). O estresse mecânico em tecidos vegetais induz o aumento da taxa de produção de etileno (Abeles et al., 1992), que pode acelerar a deterioração e a senescência em tecidos vegetativos e não-climatéricos e promover o amadurecimento ou senescência de tecidos climatéricos (Brecht, 1995; Watada et al., 1990).

Várias estratégias podem ser utilizadas para minimizar os efeitos indesejáveis associados ao processamento mínimo de hortaliças. O criterioso manejo da temperatura é, sem dúvida, uma das principais formas de se prolongar a vida de prateleira do tecido processado. O abaixamento da temperatura reduz os processos enzimáticos, como a atividade respiratória e a evolução de etileno (Wills et al., 1998) e, conseqüentemente, retarda os processos relacionados à senescência. O abaixamento da temperatura, no entanto, deve atingir níveis suficientes para manter as células vivas, porém de forma a preservar a qualidade dos produtos durante o período de armazenamento e comercialização, não permitindo que ocorra o congelamento dos tecidos (Wills et al., 1998).

A alface é uma das hortaliças que tem apresentado grande demanda por informações quando minimamente processada. Entre os principais grupos de

alface, destaca-se a cressa que, apesar de sua importância econômica, ainda é pouco estudada. Estudos relativos à atividade respiratória e à evolução de etileno do material processado, armazenado em temperaturas distintas, são desejáveis na medida em que podem elucidar uma série de problemas tecnológicos relacionados com a obtenção de um produto de excelente qualidade (Kader, 2002).

Neste trabalho, teve-se como objetivos avaliar a atividade respiratória e a evolução de etileno das alfaces cresas minimamente processadas em folhas inteiras e na forma de tiras, cujos cortes transversais têm espessuras de 5 e 10 mm, armazenadas sob duas temperaturas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Cabeças de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar Verônica foram colhidas em campos de produção comercial em Brasília, DF. O ponto de colheita utilizado foi o comercial, ou seja, cabeças completamente formadas, com aproximadamente 35 dias após o transplante.

Após a colheita, o material foi levado rapidamente para o laboratório de pós-colheita da Embrapa Hortaliças, onde foi selecionado e as folhas foram lavadas com água corrente.

Logo após a pré-lavagem o material foi minimamente processado nas formas de folhas inteiras e tiras no sentido transversal com espessura de 5 mm e 10 mm.

2.2 Processamento mínimo

2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem

As folhas de alface foram selecionadas e padronizadas quanto ao tamanho e cor, sendo descartadas aquelas que apresentavam qualquer defeito aparente ou ataque por patógenos.

2.2.2 Corte (processamento)

As alfaces foram processadas como folha inteira e fatiadas nas espessuras de 5 ± 1 mm e 10 ± 1 mm, em um processador de vegetais (Marca Robot Coupe, modelo CL 50), previamente higienizado com solução de hipoclorito de sódio (200 ppm de cloro ativo).

2.2.3 Enxágüe

Logo após o processamento, as alfaces foram lavadas com água limpa a 5 ± 1 °C, para que o excesso de matéria orgânica proveniente do processamento fosse retirado, evitando-se assim a formação de trihalometanos, assim como outras substâncias indesejáveis provenientes da formação de complexos de cloro com matéria orgânica.

2.2.4 Sanitização e enxágüe

As folhas foram imersas em solução sanitizante, contendo 150 ppm de cloro ativo a 5 ± 2 °C, por 5 minutos. Utilizou-se como sanitizante o produto comercial Sumaveg (Gessy Lever), que tem como princípio ativo o dicloro S-triazinatriona sódica diidratada. Logo após a sanitização fez-se outro enxágüe com uma solução de 5 ppm de cloro ativo, a 5 ± 1 °C.

2.2.5 Centrifugação

As folhas de alface foram centrifugadas durante três minutos, utilizando-se uma centrífuga de pequeno porte que aplicava força centrífuga de aproximadamente 800 x g.

2.3 Determinação da atividade respiratória e evolução de etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 e 10 mm

2.3.1 Folhas inteiras

Alfaces minimamente processadas como folhas inteiras foram acondicionadas em frascos com capacidade de 5,035 L de volume, com tampas providas com um septo de borracha e armazenadas a 5 ± 1 e 10 ± 1 °C.

2.3.2 Folhas processadas a 5 e 10 m

Alfaces minimamente processadas a 5 e 10 mm de espessura foram acondicionadas em frascos herméticos de 1,715 L de volume, com tampas providas com septos de borracha e mantidas nas condições da alface minimamente processada como folhas inteiras.

2.3.3 Composição gasosa da atmosfera interna

As concentrações de CO₂ e C₂H₄ na atmosfera interna dos frascos foram determinadas durante um período de 4 horas, em intervalos de 1 hora, após o processamento. Foram coletadas alíquotas de 1,0 mL da atmosfera interna dos frascos de vidro descritos anteriormente. As amostras foram retiradas com o auxílio de uma seringa hipodérmica com capacidade de 1 mL, inserindo-se a agulha no septo de borracha situado na tampa do frasco.

As amostras foram injetadas em cromatógrafo a gás, marca CG, equipado com detector de condutividade térmica e coluna empacotada com Porapak-Q (60 –100 mesh, 1m de comprimento e 3,2mm de diâmetro interno). Utilizou-se como gás de arraste o nitrogênio (N₂ – 80 kPa), com o fluxo de 40 – 45 mL min⁻¹. O padrão de dióxido de carbono, na concentração de 10 mL.L⁻¹, foi injetado nas mesmas condições das descritas para as amostras.

A quantificação das concentrações de CO₂, dentro dos frascos, foi feita pela comparação do pico produzido pela amostra com aquele produzido pela aplicação de uma alíquota de 1,0 mL do padrão de CO₂, sendo a atividade respiratória estimada, na matéria fresca, em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

A evolução de etileno do material processado foi quantificada utilizando-se o mesmo cromatógrafo a gás (marca CG), equipado com um detector de ionização de chama e coluna empacotada com Porapak-Q (60 –100 mesh, 1m de comprimento e 3,2mm de diâmetro interno). A pressão e o fluxo do N₂ (gás de arraste), do ar sintético e do hidrogênio (H₂) foram, respectivamente,

80 kPa (40 – 45 mL min⁻¹), 30 kPa (30 mL min⁻¹) e 50 kPa (35 mL min⁻¹). A quantificação do C₂H₄ liberado foi feita comparando-se a área do pico da amostra com a área produzida pela aplicação de uma alíquota de 1,0 mL de um padrão com 502 ppm de C₂H₄. A evolução de etileno, na matéria fresca, foi estimada em $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

2.4 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 24 tratamentos arranjados em esquema fatorial 3x2x4 (3 tipos de corte, 2 temperaturas e 4 tempos de amostragem) com 3 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de diferença mínima significativa em teste de comparações múltiplas, em que as diferenças entre dois tratamentos maiores que a soma de dois desvios-padrões foram consideradas significativas a 5% de probabilidade (Shamaila et al., 1992).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atividade respiratória em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 e 10 mm, armazenados sob duas temperaturas

Observou-se que o estresse de processamento mínimo causou significativa elevação da taxa respiratória logo após o processamento, e tal elevação foi mais pronunciada nas folhas processadas a 5 e 10 mm do que nas alfaces processadas como folhas inteiras, tanto a 5 quanto a 10 °C (Figura 1).

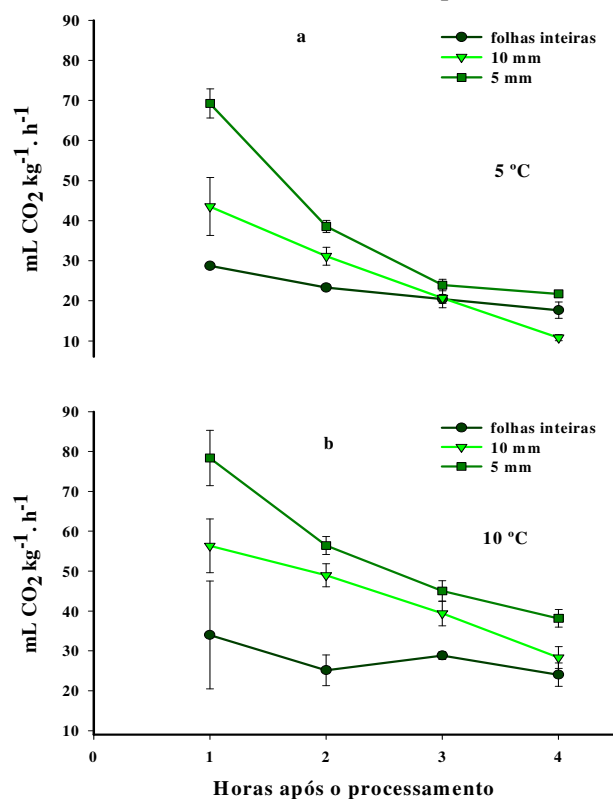


FIGURA 1 Atividade respiratória em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 e 10 mm, nas temperaturas de 5 (a) e 10 (b)°C. Barras verticais representam o desvio-padrão da média.

Verificou-se que para ambas temperaturas o material processado a 5 mm apresentou uma maior elevação na atividade respiratória logo após o processamento mínimo (Figuras 1a e 1b), constatando-se que quanto maior o estresse sofrido, maior a resposta na elevação da atividade respiratória. Na primeira hora após o processamento mínimo, a atividade respiratória do material minimamente processado a 5 mm era 2,3 e 2,7 vezes maior do que o material processado como folha inteira e armazenado a 5 e 10 °C, respectivamente (Figuras 1a e 1b).

Constatou-se que a elevação na evolução CO₂ foi transiente e que num período de três horas para o material armazenado a 5 °C e quatro horas para o material armazenado a 10 °C, após o processamento mínimo, as taxas respiratórias eram estatisticamente iguais tanto para os materiais processados a 5 e 10 mm quanto para a alface processada como folha inteira. Pela observação, verifica-se que o armazenamento a temperaturas inferiores (5 °C) reduz de forma mais rápida o metabolismo respiratório quando se compara com outra situação cuja temperatura é mais elevada (10 °C). O perfil da curva da alface processada a 10 mm foi o mesmo para as duas temperaturas estudadas, diferindo apenas nos valores, que foram mais altos, conforme esperado, para a temperatura de 10 °C.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com Moretti et al. (2002), que verificaram que raízes de batata doce minimamente processadas apresentaram elevação significativa na atividade respiratória após o processamento mínimo. Tal elevação, segundo esses autores, foi dependente da cultivar, e raízes de batata doce 'Princesa' foram as que apresentaram a maior atividade respiratória entre os materiais estudados. De maneira similar, os resultados obtidos no presente estudo também estão de acordo com Moretti et al. (2000), que observaram que pimentões minimamente processados armazenados a 22 °C apresentaram maior atividade respiratória do que o mesmo material

armazenado a 2 °C.

As variações na atividade respiratória, em função da temperatura, podem ser descritas pelo modelo clássico de Arrhenius (Exama et al., 1993; McLaughlin & O'Beirne, 1999), utilizando-se apenas a produção de CO₂ para caracterizar o processo respiratório. Observa-se que, à medida que a temperatura aumenta, a energia de ativação do CO₂ na respiração diminui de forma significativa, ou seja, a barreira energética para liberar o CO₂ é menor e, com isso, a respiração ocorre com maior intensidade.

3.2 Evolução de etileno em alface cresa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 e 10 mm, armazenadas sob duas temperaturas

Verificou-se que o estresse de processamento provocou elevação significativa da evolução de etileno nos materiais minimamente processados a 5 e 10 mm armazenados tanto a 5 quanto a 10 °C. Tal fato foi verificado de maneira menos acentuada para o material minimamente processado como folha inteira (Figura 2).

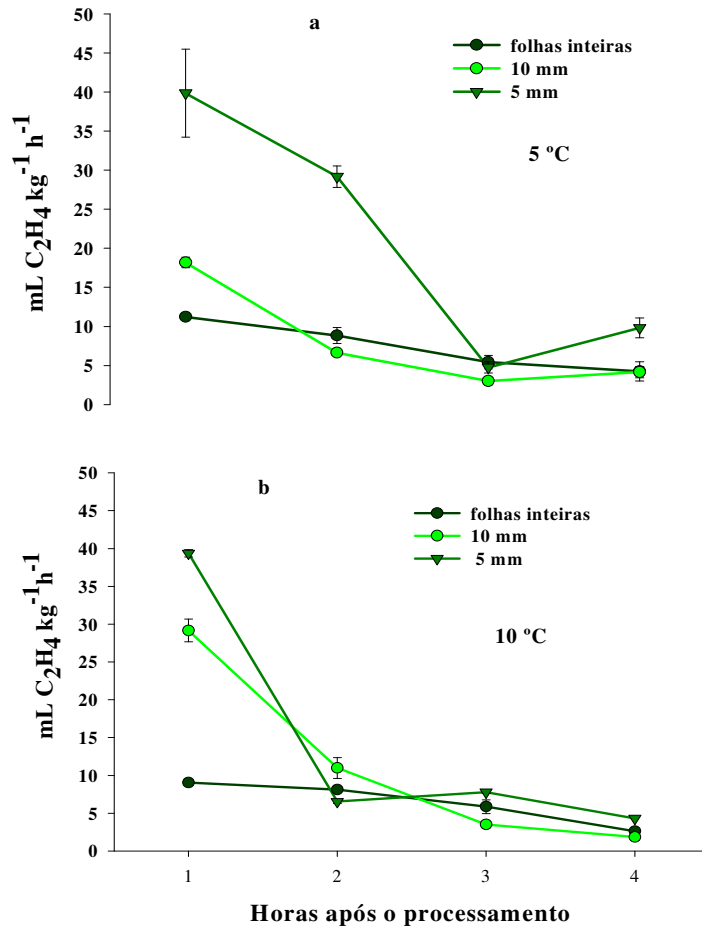


FIGURA 2 Evolução de etileno em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 e 10 mm, nas temperaturas de 5 (b) e 10 (a) °C. Barras verticais representam o desvio-padrão da média.

Verificou-se que em ambas as temperaturas no material processado a 5 mm, ocorreu maior evolução de etileno quando comparado com o material processado a 10 mm e como folhas inteiras (Figuras 2 a e b).

Para a alface armazenada a 10 °C, verificou-se que o estresse de processamento causou elevação significativa da evolução de etileno da ordem de 4 e 3 vezes para os materiais processados a 5 e 10 mm, respectivamente (Figura

2b). Constatou-se que tal evolução foi transiente e que, duas após o processamento mínimo, as taxas de evolução de etileno para a alface processada a 5 e 10 mm eram praticamente iguais às da alface processada como folha inteira.

Adicionalmente, observou-se que para o material armazenado a 5 °C o processamento a 5 mm causou elevação significativa da evolução de etileno que era em torno de 4 vezes maior do que a das folhas inteiras na primeira hora após o processamento (Figura 2a). Por outro lado, verificou-se que o material processado a 10 mm possuía evolução de etileno significativamente menor do que o processado a 5 mm, o que é uma inequívoca evidência de que o estresse de processamento mais intenso produz uma resposta fisiológica mais acentuada (Figura 2b).

Outro aspecto importante é o de que o armazenamento à temperatura de 5 °C foi capaz de reduzir a evolução de etileno para o material processado a 10 mm, mas não para o processado a 5 mm nas duas primeiras horas após o processamento mínimo. Com esse fato, verifica-se que nem sempre o armazenamento à baixa temperatura é capaz de reduzir rapidamente a atividade metabólica do produto submetido a severos estresses mecânicos, como os que ocorrem durante o processamento mínimo de hortaliças.

Os estresses mecânicos induzem a produção de etileno em vários tecidos vegetais (Abeles, 1992). Moretti et al. (1998) observaram que tomates submetidos a estresses mecânicos apresentaram aumento significativo da evolução de etileno. Similarmente ao observado no presente trabalho, tomates submetidos ao fatiamento no estágio verde maturo (de 10 a 30% da superfície possui coloração avermelhada) tiveram a evolução de etileno aumentada de 3 a 4 vezes, sendo o amadurecimento também acelerado em comparação com o fruto intacto (Mencarelli et al., 1989). Abe & Watada (1991) verificaram também que

a indução do aumento da evolução de etileno ocasionada pelo corte foi suficiente para acelerar a degradação de clorofila em espinafre.

Fica evidente, portanto, que os dados consultados na literatura mundial coincidem com os resultados encontrados no presente trabalho, ou seja, de que os estresses mecânicos de corte ocorridos por ocasião do processamento mínimo provocam o aumento da atividade respiratória e da evolução de etileno em alface crespa minimamente processada.

4 CONCLUSÕES

No presente trabalho, teve-se a finalidade de avaliar a evolução de etileno e a atividade respiratória das alfaces crespas minimamente processadas em folhas inteiras e na forma de tiras, sendo com os cortes transversais de espessuras de 5 e 10 mm, armazenadas sob duas temperaturas.

O estresse do processamento mínimo influenciou significativamente a taxa respiratória da alface minimamente processada, elevando-a logo após o processamento, e essa elevação foi mais acentuada nas folhas processadas a 5 e 10 mm que nas alfaces processadas como folhas inteiras, tanto a 5 quanto a 10 °C.

A evolução de etileno teve um aumento significativo provocado pelo processamento, principalmente nos materiais minimamente processados a 5 e 10 mm armazenados tanto a 5 quanto a 10 °C. Para a alface minimamente processada como folha inteira, o aumento foi menos acentuado. Tal fato foi verificado de maneira menos pronunciada.

Com base nos dados obtidos neste trabalho, conclui-se que a temperatura ideal para o armazenamento da alface minimamente processada é de 5 °C e o corte que apresentou maior estresse foi o de 5 mm.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K.; WATADA, E. A. Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 6, p. 1493-1496, Feb. 1991.

ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. **Ethylene in plant biology**. 2. ed. San Diego, CA: Academic Press, 1992.

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **Hortscience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-22, Feb. 1995.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems, minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2. ed. Davis: University of California. Division of horticultural and natural resources, 1992. p. 277-281.

DAY, B. P. F. Fruits and vegetables. In: R. T. PARRY, (Ed.). **Principles and applications of modified atmosphere packaging of food**. London: Chapman e Hall, 1993. p. 114-133.

EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R. W.; LEE, L. Z.; TOUPIN, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, n. 6, p. 1365-1370, Nov./Dec. 1993.

HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças. In: CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Brasília, 2002. v. 1, p. 60-94.

KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 535 p. (Publication 3311).

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 76, n. 3, p. 412-418, July 1989.

KLEIN, B. P. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 10, n. 3, p. 179-193, 1987.

LATIES, G. G. The development and control of respiratory pathways in slices of plant storage organs. In: KHAL, G. (Ed.). **Biochemistry of wounded tissues**. Berlin: Walter deGruyter, 1978. p. 421-466.

MATTHEWS, R. H.; MCCARTHY, M. A. Nutritional quality of fruits and vegetables subject to minimal processing. In: WILEY, R. C. (Ed.), **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 313-326.

McLAUGHLIN, C. P.; O'BEIRNE, D. Respiration rates of dry coleslaw mix as affected by storage temperature and respiratory gas concentrations. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 1, p. 116-119, Jan./Feb. 1999.

MENCARELLI, F.; SALTVEIT, M. E.; MASSANTINI, R. Lightly processed foods: Ripening of tomato fruit slices. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 244, p. 193-200, 1989.

MORETTI, C. L. Tecnologia de produtos minimamente processados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR. 2001. 5 p.

MORETTI, C. L.; ARAUJO, A. L.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Respiratory activity and browning of minimally processed sweet potatoes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 497-500, set. 2002.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A.; HUBER, D. J.; CALBO, A. G.; PUSCHMANN, R. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule and placental tissues of tomatoes with internal bruising. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 4, p. 656-660, July 1998.

MORETTI, C. L.; SILVA, W. L.; ARAUJO, A. L. Quality attributes and carbon dioxide evolution of bell peppers as affected by minimal processing and storage temperature. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Orlando, v. 113, p. 156- 159, 2000.

ROSEN, J. C.; KADER, A. A. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 3, p. 656-659, May/June 1989.

SALTVEIT, M. E. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ROBINS, R. J. (Ed.), **Phytochemistry of fruit and vegetables**. London: Oxford University Press, 1997. p. 205-220.

SHAMAILA, M.; POWRIE, W. D.; SKURA, B. J. Sensory evaluation of strawberry fruit stored under modified atmosphere packaging (MAP) by quantitative descriptive analysis. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 57, n. 5, p. 1168-1172, Sept./Oct. 1992.

VAROQUAUX, P.; WILEY, R. C. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 226-268.

WATADA, A. E.; ABE, K.; YAMAUCHI, N. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 44, n. 5, p. 116, 118, 120-122, May 1990.

WATADA, A. E.; KO, N. P.; MINOTT, D. A. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. **Postharvest Biology Technology**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 115-125, June 1996.

WILLS, R. H.; LEE, T. H.; HALL, E. G. **Postharvest** – an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. Westport: AVI, 1998. 160 p.

CAPÍTULO 3

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE ALFACE CRESPA
MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA SOB DUAS
TEMPERATURAS E EM DOIS SISTEMAS DE EMBALAGEM**

RESUMO

MATTOS, Leonora Mansur. Comportamento fisiológico de alface crespa minimamente processada armazenada sob duas temperaturas em dois sistemas de embalagem. In: **Alface crespa minimamente processada: embalagem sob diferentes sistemas de atmosfera modificada e armazenamento refrigerado**. 2005. 136 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

A embalagem é parte fundamental no processamento mínimo de hortaliças, tendo como objetivos proteger o produto contra vários fatores prejudiciais, como danos físicos, contaminação por microrganismos e ainda controlar a permeação de componentes do ambiente, como gases e vapor de água. O controle de etileno, gás carbônico e oxigênio é importante para a manutenção da qualidade dos produtos minimamente processados. No presente trabalho, avaliaram-se as variações nas concentrações de dióxido de carbono, etileno e oxigênio no interior das embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade contendo alfaces crespas minimamente processadas armazenadas sob duas temperaturas. Com base nos resultados obtidos, pode-se observar que a alface minimamente processada na forma de tiras a 5 mm apresentou maior taxa respiratória que aquela processada como folha inteira, constatando-se que quanto mais agressivo é o processamento, maior é o metabolismo. Observou-se, ainda, que para o material embalado a 5°C, após os dois dias iniciais, a concentração de etileno dentro da embalagem caiu até quatro vezes no produto embalado com polietileno de baixa densidade. E verificou-se que as concentrações de oxigênio para os materiais minimamente processados a 5 mm, durante os dias de armazenamento, eram consistentemente menores do que a das alfaces processadas como folhas inteiras, em ambas as embalagens e temperaturas avaliadas. Concluiu-se que o filme de polipropileno apresentou, para a alface minimamente processada, maior barreira para gás carbônico, etileno e oxigênio que o de polietileno de baixa densidade. Sendo, portanto o filme de polipropileno o mais indicado tanto na temperatura de 5 °C quanto na de 10 °C para este produto.

* Comitê orientador: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Orientador), Celso Luiz Moretti (Orientador)– EMBRAPA, Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

ABSTRACT

MATTOS, Leonora Mansur. Physiological behavior of fresh-cut crisphead lettuce stored under two different temperatures and two modified atmosphere systems. In: **Minimally processed crisphead lettuce: packed under different modified atmosphere systems and refrigerated storage**. 2005. 136 p. Thesis (Doctorate in Food Science)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

Packages have a major importance in fresh-cut technology, having the function to protect the product against harmful factors, such as physical damage, contamination by microorganisms, besides being associated with permeation control of gaseous compounds, such as carbon dioxide and water vapor. Controlling the evolution of carbon dioxide, ethylene and oxygen is very important for the quality of fresh-cut lettuce. In the present work the concentration of carbon dioxide, ethylene and oxygen was evaluated inside polypropylene (PP) and low density polyethylene (LDPE) plastic films, when packages were stored under two different temperatures. Fresh-cut lettuce sliced at 5 mm showed a higher carbon dioxide evolution as compared to the material processed as whole leaves, indicating that the more aggressive the slicing process, the higher the metabolism. It was also observed for the material stored under 5 °C that ethylene concentration significantly decreased during the two-day period right after processing when fresh-cut lettuce was stored in LDPE. It was also verified that oxygen concentration in packages of lettuce sliced at 5 mm was consistently lower when compared to whole leaves for both the temperatures and packages studied. It was concluded that polypropylene films showed a higher barrier for carbon dioxide, ethylene and oxygen permeation when compared to low density polyethylene, indicating that PP is more suitable for the storage of fresh-cut crisphead lettuce for both temperatures when compared to LDPE.

* Guidance Committee: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Advisor), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Advisor), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

1 INTRODUÇÃO

O acondicionamento dos produtos minimamente processados em embalagens é uma prática indispensável à comercialização, por se tratarem de vegetais que foram reduzidos pelo corte e, posteriormente, higienizados, não sendo mais possível manuseá-los a granel. Nesse sentido, as embalagens facilitam o transporte, o manuseio e a venda desses produtos, além de exercer em outros efeitos que podem ser benéficos ou não, dependendo de vários fatores como o tipo de vegetal a ser acondicionado, a taxa respiratória desse vegetal minimamente processado, a taxa de permeabilidade da embalagem aos gases O₂ e CO₂ e a temperatura na cadeia de comercialização (armazenamento – distribuição – comercialização), entre outros (Kader, 2002; Saltveit, 2003).

As embalagens possuem várias funções, entre elas a de proteger os alimentos contra danos físicos e contaminações externas, reduzir a perda de umidade do produto, informar sobre o alimento e atuar como vendedor silencioso. Para os produtos minimamente processados têm-se utilizado embalagens de filmes poliméricos que possuam a propriedade de reduzir a perda de umidade e gerar a modificação da atmosfera em torno do alimento (Zagory, 1999).

Recentemente, houve muitas inovações e progressos em filmes plásticos e equipamentos para embalagens especificamente desenvolvidos para auxiliar na conservação e manutenção da qualidade dos produtos minimamente processados (Cantwell et al., 1992).

No produto acondicionado em embalagens plásticas, o abaixamento no nível de O₂ pela atividade respiratória (Wills et al., 1998) reduz o metabolismo respiratório, a biossíntese e ação do etileno (Abeles et al., 1992). Por outro lado, o CO₂ acumulado nas embalagens por razão da atividade respiratória, atua como

inibidor da respiração (Wills et al., 1998) e também da ação do etileno (Abeles et al., 1992; Ke & Saltveit, 1989). Assim, tem-se, simultaneamente, o efeito da redução da taxa respiratória e da evolução de etileno aliada à menor ação desse hormônio, fazendo com que os produtos tenham o seu período de comercialização ampliado consideravelmente. Nesse caso, a microatmosfera desejável, criada dentro das embalagens, pode ser transportada facilmente junto com o produto, tomando-se os cuidados para que o aumento na concentração de CO₂ não atinja níveis indesejáveis, nem a redução da concentração de O₂ facilite a respiração anaeróbica.

A embalagem é uma parte essencial do processamento e da distribuição dos alimentos. Com a seleção de material de filmes plásticos, tenta-se alcançar um equilíbrio entre a demanda de oxigênio do produto (consumo de oxigênio pela respiração) e a permeabilidade do filme para a transmissão de oxigênio e dióxido de carbono. Na prática, os filmes são freqüentemente selecionados de acordo com a taxa de transmissão de oxigênio (mL . m⁻². dia⁻¹). Vários fatores do produto devem ser levados em consideração na seleção de um filme plástico, como a taxa de respiração do produto e o corte específico, a quantidade do produto e as concentrações de equilíbrio entre O₂ e CO₂ desejáveis. As características da embalagem plástica que necessitam ser consideradas incluem: (1) a permeabilidade de uma dada espessura do filme plástico para O₂, CO₂ e água a uma dada temperatura; (2) a área de superfície total de uma embalagem selada; e (3) o volume livre no interior da embalagem (Cantwell et al., 1992).

Muitos tipos de filmes são comercialmente disponíveis e usados para embalagem de produtos minimamente processados, incluindo polietileno (PE), polipropileno (PP), misturas de PE e etileno vinil acetato (EVA), e polímeros coextrusados ou laminados de vários filmes. Além das características de permeabilidade descritas acima, os filmes devem também satisfazer outras necessidades. Eles devem ser resistentes a rupturas (PP orientado ou

poliestireno), perfurações (PE de baixa densidade), estiramentos (PP orientado ou tereftalato de polietileno), devem ser de fácil manuseio nas embaladoras (recobrimento de acrílico ou aditivos de estereato), ter clareza para que a visualização seja boa e seja próprio para impressão, e em alguns casos que possa ser selado. Além disso, o fato de ser atrativo pelo tato e fácil de abrir são considerações importantes (Zagory, 1995).

Outras opções de embalagem incluem bandejas rígidas e impermeáveis cobertas com um filme permeável. Filmes microperfurados apresentam grande quantidade de micro furos (40 a 200 μm) e permitem níveis elevados de concentração de O_2 em combinação com a concentração intermediária de CO_2 . Com flutuações de temperatura, a permeabilidade de muitos filmes comuns modifica muito pouco em comparação ao aumento dramático nas taxas de respiração (demanda de oxigênio) a temperaturas mais altas. Na ausência de oxigênio, ocorre o metabolismo anaeróbico resultando em odores indesejáveis e outros problemas na qualidade. Há tentativas de desenvolver novas tecnologias de filmes para suprir as demandas de flutuação de temperatura.

No presente trabalho, teve-se como objetivos avaliar as variações nas concentrações de dióxido de carbono, etileno e oxigênio no interior das embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade contendo alfaces crespas minimamente processadas armazenadas sob duas temperaturas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Cabeças de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar Verônica foram colhidas em campos de produção comercial em Brasília, DF. O ponto de colheita utilizado foi o comercial, ou seja, cabeças completamente formadas, com aproximadamente 35 dias após o transplante.

Após a colheita, o material foi levado rapidamente para o laboratório de pós-colheita da Embrapa Hortaliças, onde foi selecionado e as folhas foram lavadas com água corrente.

Logo após a pré-lavagem o material foi minimamente processado nas formas de folhas inteiras e tiras no sentido transversal com espessura de 5 mm.

2.2 Processamento mínimo

2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem

As folhas de alface foram selecionadas e padronizadas quanto ao tamanho e cor, sendo descartadas aquelas que apresentavam qualquer defeito aparente ou ataque por patógenos.

2.2.2 Corte (processamento)

As alfaces foram processadas como folha inteira e fatiadas na espessura de 5 ± 1 mm, em um processador de vegetais (Marca Robot Coupe, modelo CL 50), previamente higienizado com solução de hipoclorito de sódio (200 ppm de cloro ativo).

2.2.3 Enxágüe

Logo após o processamento, as alfaces foram lavadas com água limpa a 5 ± 1 °C, para que o excesso de matéria orgânica proveniente do processamento fosse retirado, evitando-se assim a formação de trihalometanos, bem como outras substâncias indesejáveis provenientes da formação de complexos de cloro com matéria orgânica.

2.2.4 Sanitização e enxágüe

As folhas foram imersas em solução sanitizante, contendo 150 ppm de cloroativo a 5 ± 2 °C, por 5 minutos. Utilizou-se como sanitizante o produto comercial Sumaveg (Gessy Lever), que tem como princípio ativo o dicloro S-triazinatriona sódica diidratada. Logo após a sanitização fez-se outro enxágüe com uma solução de 5 ppm de cloro ativo, a 5 ± 1 °C.

2.2.5 Centrifugação

As folhas de alface foram centrifugadas durante 3 minutos, utilizando-se uma centrífuga de pequeno porte que aplicava força centrífuga de aproximadamente 800 x g.

2.2.6 Embalagem

As amostras do produto minimamente processado foram, então, acondicionadas em embalagens flexíveis de polietileno de baixa densidade e polipropileno e seladas com o auxílio de uma seladora comercial (Selovac 200B). As dimensões, ponto de selagem e permeabilidade ao oxigênio, gás carbônico e ao vapor d'água das embalagens estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 Taxas de permeabilidade ao oxigênio (TPO_2), ao gás carbônico ($TPCO_2$) e ao vapor d'água (TPH_2O) das embalagens plásticas utilizadas nesse experimento

EMBALAGEM	PERMEABILIDADE*		
	TPO_2	$TPCO_2$	TPH_2O
	$cm^3 m^{-2} dia^{-1}$		$g m^{-2} dia^{-1}$
Polietileno de baixa densidade	4127	17573	16,4
Polipropileno	2400	8400	8-10

* Análises feitas no Lab. Pós-Colheita da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

2.2.7 Armazenamento

O produto embalado foi armazenado, sob refrigeração, em câmaras frias, sob as temperaturas de 5 e 10 °C.

As amostras de alface descritas acima foram utilizadas nas pesquisas, conforme descrito nos experimentos seguintes.

2.3 Determinação das concentrações de dióxido de carbono e etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 mm e armazenadas sob duas temperaturas e em dois tipos de embalagens

Após selagem das embalagens (Seladora Selovac 200B), contendo 200 g de alface cada, o produto foi mantido por 14 dias, às temperaturas de 5 e 10 ± 1°C, em câmara fria. Durante 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 dias de armazenamento, foram retiradas amostras para a análise de dióxido de carbono (CO_2), etileno (C_2H_4) e oxigênio (O_2). Foram coletadas alíquotas de 1,0 mL da atmosfera interna das embalagens plásticas. As amostras foram retiradas com o auxílio de uma seringa hipodérmica com capacidade de 1 mL, inserindo a agulha no septo de silicone da embalagem.

2.3.1 Determinação das concentrações de dióxido de carbono e etileno no interior das embalagens

As concentrações de CO₂ e C₂H₄ na atmosfera interna das embalagens foram determinadas a cada 2 dias durante os 14 dias de armazenamento, após o processamento.

As amostras foram injetadas no cromatógrafo a gás, marca CG, equipado com detector de condutividade térmica e coluna empacotada com Porapak-Q (60 –100 mesh, 1m de comprimento e 3,2mm de diâmetro interno). Utilizou-se como gás de arraste o nitrogênio (N₂ – 80 kPa), com o fluxo de 40 – 45 mL min⁻¹.

O padrão de dióxido de carbono, na concentração de 10 mL.L⁻¹, foi injetado nas mesmas condições das descritas para as amostras.

A quantificação das concentrações de CO₂, dentro das embalagens, foi feita pela comparação do pico produzido pela amostra com aquele produzido pela aplicação de uma alíquota de 1,0 mL do padrão de CO₂, sendo a concentração estimada, na matéria fresca, em porcentagem.

A concentração de etileno do material processado foi quantificada utilizando-se o mesmo cromatógrafo a gás (marca CG), equipado com um detector de ionização de chama e coluna empacotada com Porapak-Q (60–100 mesh, 1m de comprimento e 3,2mm de diâmetro interno). A pressão e o fluxo do N₂ (gás de arraste), do ar sintético e do hidrogênio (H₂) foram, respectivamente, 80 kPa (40 – 45 mL min⁻¹), 30 kPa (30 mL min⁻¹) e 50 kPa (35 mL min⁻¹). A quantificação do C₂H₄ liberado foi feita comparando-se a área do pico da amostra com a área produzida pela aplicação de uma alíquota de 1,0 mL de um padrão com 502 ppm de C₂H₄. A concentração de etileno, na matéria fresca, foi estimada em µL C₂H₄ L⁻¹ h⁻¹.

2.3.2 Determinação da concentração de oxigênio na atmosfera interna das embalagens

A concentração de O_2 na atmosfera interna das embalagens foi determinada no intervalo de 2 dias durante os 14 dias de armazenamento. Foram coletadas alíquotas de aproximadamente 1,0 mL da atmosfera interna das embalagens plásticas. As amostras foram retiradas com o auxílio de uma seringa hipodérmica com capacidade de 1 mL, inserindo a agulha no septo de silicone da embalagem.

As amostras gasosas de aproximadamente 50 μ L, quantidade suficiente para formar uma bolha de 5,0 cm, foram injetadas na pipeta de vidro de um equipamento denominado Bonnier & Mangin (Thoday, 1913). Esse aparelho consiste em um suporte no qual estão dispostos a pipeta de medição, três frascos fixos e um frasco móvel.

A medição é feita colocando as soluções de ácido sulfúrico diluído (aproximadamente 0,002 mol/L), de hidróxido de sódio 100 g/L e de pirogalol 50 g/L, tendo como solvente o hidróxido de sódio a 50 g/L. O ácido sulfúrico diluído deve escoar por gravidade através da pipeta, quando a torneira do frasco móvel é aberta e a amostra gasosa é injetada na pipeta, com o auxílio de uma seringa de 1 mL. A torneira do frasco móvel é fechada e a bolha é medida. Injeta-se então a solução de NaOH na pipeta para que reaja e consuma todo o CO_2 . Para que isso aconteça, a bolha deve ser levada da esquerda para a direita por, no mínimo, três vezes. A bolha é, então, novamente medida e injeta-se a solução de pirogalol, seguindo o mesmo procedimento descrito para NaOH. O pirogalol reage com o oxigênio. Mede-se novamente a bolha determinando-se assim a concentração de O_2 .

A quantificação das concentrações de O_2 , dentro das embalagens, foi estimada, na matéria fresca, em porcentagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Concentração de dióxido de carbono em alface crespa minimamente processada, folhas inteiras e a 5 mm, armazenadas sob duas temperaturas e em duas embalagens

Observou-se que as alfaces processadas a 5 mm e armazenadas em filmes de polipropileno determinaram o maior acúmulo de CO₂ ao longo dos 14 dias de armazenamento, independentemente da temperatura de armazenamento (Figura 1).

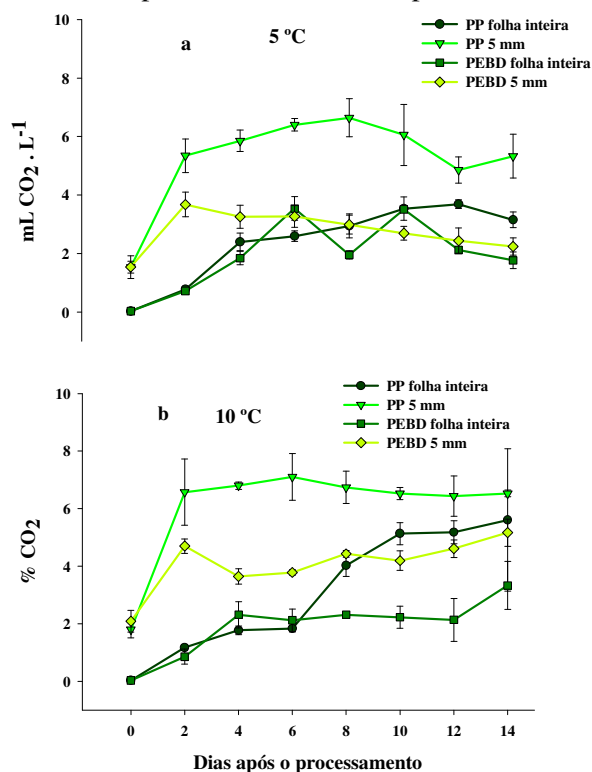


FIGURA 1 Concentração de dióxido de carbono em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm, nas temperaturas de 5 (a) e 10 (b) °C, embaladas em filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP). Barras verticais representam o desvio-padrão da média.

Para o material armazenado a 5 °C em embalagens de PEBD e processado como folha inteira verificou-se aumento na concentração de CO₂ de 4 vezes do tempo 6 em relação ao tempo zero. A alface processada nas mesmas condições, armazenada a mesma temperatura e embalada em PP apresentou um aumento na evolução de CO₂ até o 12º dia, tendo uma queda suave nos 2 últimos dias (Figura 1a).

O material minimamente processado a 5 mm, armazenado a 5°C e embalado em PP teve aumento na concentração interna da embalagem que foi significativamente superior ao material processado e armazenado nas mesmas condições mas que foi embalado em PEBD (Figura 1a). Para a alface embalada com PP, verificou-se concentração de CO₂ elevada até o 10º dia de avaliação do material, podendo-se observar uma queda nos dois últimos dias. Para o mesmo material embalado em PEBD, notou-se um decréscimo gradativo da evolução de CO₂, a partir do segundo dia. Pela análise dos dados, pôde-se permitir inferir que a embalagem de PEBD é mais permeável ao CO₂ que a embalagem de PP, o que explica o maior acúmulo desse gás dentro da embalagem de PP quando se comparou o mesmo produto, na mesma temperatura, todavia, embalado com filme de PEBD.

Observou-se que a alface minimamente processada a 5 mm, armazenada a 10 °C e embalada em filme de polipropileno teve aumento na concentração de CO₂ ao longo de todo o período experimental estudado, e tal fenômeno ocorreu de forma mais acentuada nos dois primeiros dias de armazenamento (Figura 1b). De maneira similar, houve acúmulo de CO₂ para a alface processada como folha inteira e embalada em PP armazenada à mesma temperatura, e que a elevação da concentração ocorreu de forma menos acentuada. No fim do período experimental, verificou-se que não havia diferença significativa entre os teores de CO₂ do material processado a 5 mm e do material processado como folha inteira para a embalagem de PP (Figura 1b). Para o material embalado em filme

de PEBD e armazenado a 10 °C observou-se que as concentrações de CO₂ no interior da embalagem foram menores do que as verificadas para a embalagem de PP. No material processado a 5 mm, observou-se, de forma consistente, teores de CO₂ significativamente maiores do que das alfaces processadas como folhas inteiras até o 12º dia de armazenamento, e no final do experimento não havia diferença significativa entre esses tratamentos (Figura 1b).

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com o verificado por Brecht (1995) que observou que com o aumento na área da exposição dos tecidos injuriados, a atividade respiratória aumenta várias vezes. Esse autor observou que em comparação com o produto inteiro, a atividade respiratória aumentou 1,2 vezes em chicória cortada, 2 vezes em alface cortada e até 7 vezes em cenoura ralada.

Em diversos trabalhos, verifica-se que o filme de PP microperfurado é o mais adequado para armazenar alface. Tal filme, entretanto, não pode ser utilizado para o armazenamento sob atmosfera modificada (Artés & Martinez, 1996; Martinez & Artes, 1999).

3.2 Concentração de etileno em alface crespa minimamente processada em folhas inteiras e a 5 mm, armazenadas sob duas temperaturas e em duas embalagens

Os comportamentos dos materiais processados a 5 mm e como folha inteira, embalados em filmes de PEBD e PP, quanto ao etileno, foram muito similares para as duas temperaturas estudadas (Figura 2).

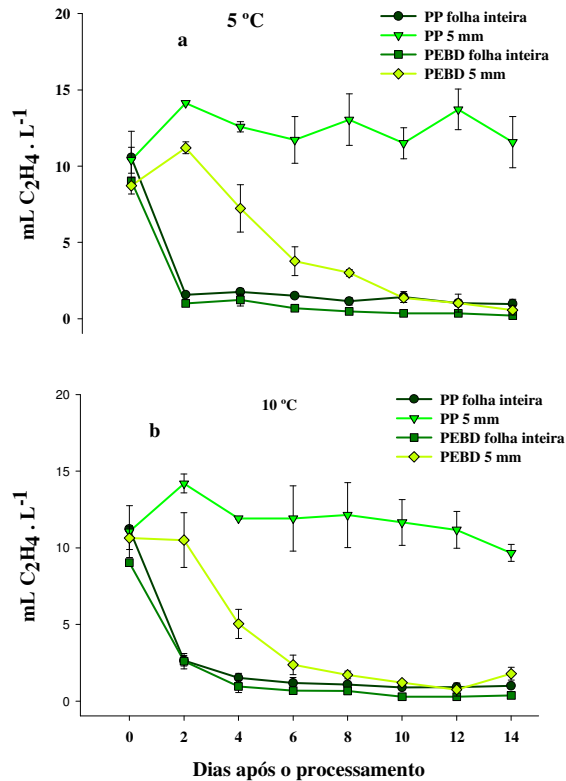


FIGURA 2 Concentração de etileno em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm, na temperatura de 5 (a) e 10 (b) °C, embaladas em polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP). Barras verticais representam o desvio-padrão da média.

Verificou-se também que na embalagem de PP contendo alface minimamente processada a 5 mm, apresentaram-se concentrações de etileno que foram significativamente maiores do que os demais tratamentos para ambas as temperaturas estudadas (Figuras 2a e 2b).

Observou-se para a alface minimamente processada a 5 mm, embalada em PEBD, em ambas as temperaturas, comportamento parecido com a alface

processada a 5 mm e embalada em PP, durante os dois primeiros dias após o processamento. Entretanto, para o material embalado a 5°C, verificou-se que após esses dois dias iniciais, a concentração de etileno dentro da embalagem caiu até quatro vezes no produto embalado com PEBD, entre o segundo e o sexto dia após o processamento (Figura 2a).

Para o produto minimamente processado como folha inteira, em ambas as temperaturas estudadas, a embalagem de PEBD não apresentou diferença significativa da embalagem de PP na concentração de etileno entre os tratamentos, para o período experimental analisado (Figuras 2a e 2b). Constatou-se que para as duas temperaturas avaliadas houve redução consistente da concentração de etileno tanto na embalagem de PEBD quanto na de PP para o material processado a 5 mm após o segundo dia de armazenamento (Figuras 2a e 2b).

Por essas observações, permite-se concluir que a embalagem de PP é menos permeável ao etileno do que a de PEBD, similarmente ao observado para o CO₂.

Um outro caminho para controlar os efeitos adversos do etileno em alface processadas, e até mesmo intacta, é eliminá-lo do interior da embalagem, mantendo a temperatura próxima de 0 °C para minimizar a atividade fisiológica e aumentar a concentração de inibidores da ação do etileno (Saltveit et al., 2003).

3.3 Concentração de oxigênio em alface crespa minimamente processada, folhas inteiras e a 5 mm, armazenadas sob duas temperaturas e em duas embalagens

Verificou-se que as concentrações de oxigênio para os materiais minimamente processados a 5 mm, durante os dias de armazenamento, eram consistentemente menores do que a das alfaces processadas como folhas inteiras, em ambas as embalagens e temperaturas avaliadas (Figuras 3a e 3b).

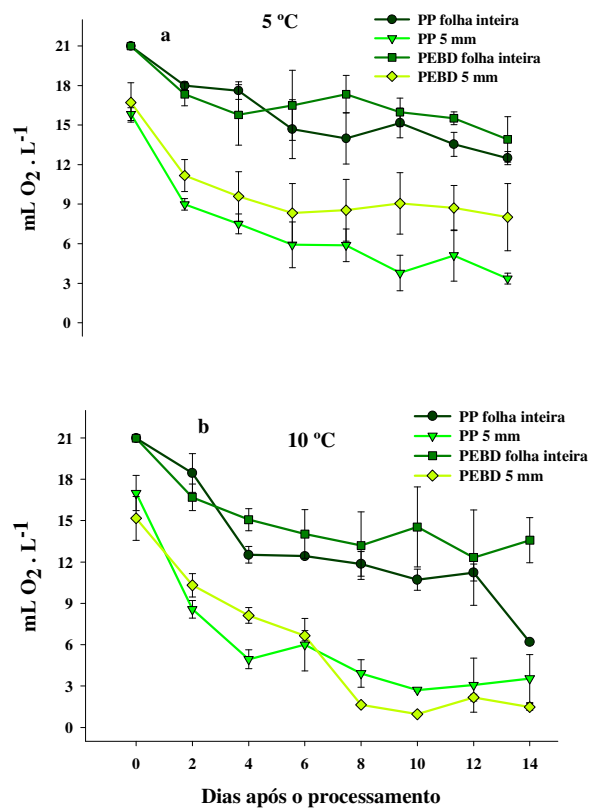


FIGURA 3 Concentração de oxigênio em alfaces minimamente processadas como folhas inteiras e a 5 mm, na temperatura de 5 (a) e 10 (b) °C, embaladas em filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP).

Por esse fato, verifica-se que o processamento a 5 mm aumentou de forma mais intensa a atividade respiratória do produto, ocasionando elevação da atividade respiratória com maior consumo de oxigênio para ambas as temperaturas estudadas (Figuras 3a e 3b).

Observou-se que no período de armazenamento estudado, a concentração de oxigênio nas embalagens de PEBD e PP do produto processado como folha inteira e armazenado a 5°C diminuiu cerca de 20% durante o período experimental (Figura 3a).

Para ambas as temperaturas estudadas, verificou-se que no material processado a 5 mm e armazenado em filme de PEBD, observaram-se concentrações de oxigênio inferiores a 10% a partir do segundo dia de armazenamento. Ao final do período experimental, a concentração de oxigênio no material processado a 5 mm, embalado em filme de PEBD e armazenado a 10 °C era 5 vezes menor do que a concentração inicial (Figura 3b).

Em alguns sistemas de atmosfera modificada, após algum tempo, atinge-se um estado de equilíbrio dinâmico, no qual a concentração O_2 e CO_2 se mantém constante, o que pôde ser constatado nos casos discutidos aqui. Em pesquisas com atmosfera modificada, procura-se determinar filmes que tenham uma determinada permeabilidade que, combinada com a taxa respiratória do produto, permitam, no estado de equilíbrio, a manutenção de uma microatmosfera em torno do produto, cujo benefício para conservação seja máximo (Cameron et al., 1995; Exama et al., 1993).

4 CONCLUSÕES

Observou-se acúmulo de CO₂ no interior das embalagens de PP e PEBD utilizadas para alface minimamente processada. O filme de PP mostrou-se maior barreira que o PEBD, ao CO₂, visto que os maiores acúmulos de CO₂ foram evidenciados no interior das embalagens contendo aquele polímero. O efeito de maior barreira do PP foi mais nítido no armazenamento das tiras de 5 mm, a despeito da temperatura. Para folhas inteiras, o efeito também foi notado, mas de forma menos visível à temperatura de 10 °C.

Pode-se, ainda, afirmar, com base nos resultados obtidos, que na alface minimamente processada na forma de tiras a 5 mm, ocorreu maior taxa respiratória que para aquela processada como folha inteira, constatando-se que quanto mais agressivo é o processamento, maior é o metabolismo.

Observou-se que o filme de polipropileno teve maior barreira ao etileno que o de polietileno de baixa densidade, quando armazenados tanto a 5 °C quanto a 10 °C. O mesmo efeito não pode ser observado no material processado como folha inteira, armazenado nas duas temperaturas estudadas, devido, provavelmente, à menor taxa de evolução de etileno nesse material.

Constatou-se, para as duas temperaturas, que na alface processada a 5 mm e armazenada em filme de PEBD, ocorreram concentrações de oxigênio inferiores ao filme de PP a partir do segundo dia de armazenamento. O filme de PP apresentou maior barreira ao O₂ que o PEBD.

O efeito de maior barreira do PP foi mais nítido no armazenamento das tiras de 5 mm, a despeito da temperatura. Para folhas inteiras, o efeito também foi notado, mas de forma menos visível à temperatura de 10 °C.

Conclui-se que o filme de polipropileno apresentou, para a alface minimamente processada, maior barreira para gás carbônico, etileno e oxigênio que o de polietileno de baixa densidade. Sendo esse filme mais indicado tanto na temperatura de 5 °C quanto na de 10 °C para esse produto.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. **Ethylene in plant biology**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1992. 414 p.

ARTÉS, F.; MARTÍNEZ, J. A. Influence of packaging treatments on the keeping quality of 'Salinas' lettuce. **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, Jena, v. 29, n. 7, p. 664-668, 1996.

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-22, Feb. 1995.

CAMERON, A. C.; TALASILA, P. C.; JOLES, D. W. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 25-34, Feb. 1995.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems, minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2. ed. Davis: University of California. Division of horticultural and natural resources, 1992. p. 277-281.

EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R. W.; LEE, L. Z.; TOUPIN, C. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, n. 6, 1365-1370, Nov./Dec. 1993.

KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 535 p. (Publication 3311).

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Plant hormone interaction and phenolic metabolism in the regulation of russet spotting in iceberg lettuce. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 4, p. 1136-1140, Dec. 1989.

MARTINEZ, J. A.; ARTÉS, F. Effect of packaging treatments and vacuum-cooling on quality of winter harvest iceberg lettuce. **Food Research International**, Amsterdam, v. 32, n. 9, p. 621-627, 1999.

SALTVEIT, M. E. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere?
Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 3-13, Jan.
2003.

SALTVEIT, M. E.; OCHOA, O.; CAMPOS-VARGAS, R.; MICHELMORE, R.
Lines of lettuce select for ethylene intensity at the seedling stage displayed
variable responses to ethylene or wounding as mature heads. **Postharvest
Biology and Technology**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 277-283, Mar. 2003.

THODAY, M. A. On the capillary eudimetric apparatus of Bonnier and mangin
for the analysis of air in investigating the gaseous exchanges of plants. **Annals
of Botany**, London, v. 27, p. 565-573, 1913.

WILLS, R. H.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Postharvest – an
introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and
ornamentals**. New York: CABI International. 1998. 262 p.

ZAGORY, D. Controlled and modified atmospheres: I General aspects of film
technology and selection. In: **Proceedings of fresh-cut products**: maintaining
quality and safety. Davis: Uc Davis Campus, 1999. 34 p.

ZAGORY, D. Principles and practice of modified-atmospheres packaging of
horticultural commodities. In: FABER, J. M.; DODDS, K. L. (Ed.). **Principles
of modified-atmospheres and sous vide product packaging**. Canada:
Lancaster, 1995. p. 175-206.

CAPÍTULO 4

QUALIDADE QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUÍMICA DE ALFACE CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA A 5 °C EM DOIS SISTEMAS DE EMBALAGEM

RESUMO

MATTOS, Leonora Mansur. Qualidade química, física e bioquímica de alface crespa minimamente processada armazenada a 5 °c em dois sistemas de embalagem. In: **Alface crespa minimamente processada: embalagem sob diferentes sistemas de atmosfera modificada e armazenamento refrigerado**. 2005. 136 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

O processamento mínimo acelera a perda de qualidade, reduz a vida de prateleira e modifica os atributos sensoriais no produto. A alface minimamente processada tem ainda o efeito do escurecimento enzimático resultado da descompartimentação de enzimas e seus substratos. Neste trabalho, avaliou-se a qualidade química, física e bioquímica de alfaces crespas minimamente processadas e armazenadas sob refrigeração a 5 °C em embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade. O material processado como folhas inteiras teve maior teor de sólidos solúveis e maior brilho (L) que aquele processado como tiras a 5 mm, para as duas embalagens estudadas. A atividade tanto de polifenoloxidase como de peroxidase foi maior para o material processado como tiras de 5 mm, quando comparado à alface processada como folha inteira. Concluiu-se que no material que sofreu maior estresse, alface processada como tiras de 5 mm, observou-se maior escurecimento enzimático, menor brilho e maior conteúdo de sólidos solúveis para as duas embalagens estudadas.

* Comitê orientador: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Orientador), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Orientador), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

ABSTRACT

MATTOS, Leonora Mansur. Chemical, physical, and biochemical quality of fresh-cut crisphead lettuce stored under 5 °C and two packaging systems. In: **Minimally processed crisphead lettuce: packed under different modified atmosphere systems and refrigerated storage**. 2005. 136 p. Thesis (Doctorate in Food Science)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

Minimal processing usually causes quality loss, reduces shelf-life, and promotes sensory attributes alterations. The occurrence of browning in the mid-rib of fresh-cut lettuce is commonly observed which is a result of cell tissue disruption putting in contact enzymes and their respective substrates. Chemical, physical, and biochemical quality of fresh-cut crisphead lettuce stored under 5 °C and two different packaging systems were evaluated in the present work. Lettuce processed as whole leaves showed a higher concentration of soluble solids and brightness (L^*) when compared to the material sliced at 5 mm, for both the packaging systems studied. Both polyphenoloxidase and peroxidase activities were higher for fresh-cut lettuce sliced at 5 mm when compared to whole leaves. It was concluded that the material that suffer the higher stress had the higher enzymatic browning, lower brightness and higher content of total soluble solids, for both the packaging systems studied.

*Guidance Committee: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Advisor), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Advisor), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

1 INTRODUÇÃO

As hortaliças minimamente processadas têm-se tornado cada vez mais populares, tanto em nível institucional como doméstico, pela conveniência, aliada à elevada qualidade sensorial, pelos benefícios de um produto seguro. A quantidade de hortaliças comercializadas nessa forma, nos Estados Unidos, no período de 1980 a 1988, aumentou em 30%, equivalente a 7,5 bilhões de quilos (Schlimme, 1995; Cantwell, 2000).

Por tratar-se de um produto injuriado, principalmente pelo corte, a vida de prateleira é reduzida em relação ao produto não processado (Cantwell, 1992), apresentando comportamento fisiológico de tecidos vegetais submetidos a condições de estresse (Brecht, 1995). As respostas conseqüentes das injúrias mecânicas provocadas pelo processamento mínimo podem acelerar a perda de qualidade, reduzir a vida de prateleira e modificar os atributos sensoriais (Wiley, 1994). As principais alterações são a perda de integridade celular na superfície cortada, a suberização da parede celular e a degradação microbiológica dos tecidos. Além disso, o processamento mínimo, pode ocasionar a descompartimentação de enzimas e seus substratos, aumento da taxa respiratória, da evolução de etileno, de compostos fenólicos solúveis e totais e da atividade das enzimas fenilalanina amônia-liase, peroxidases, catalases e polifenol oxidases (Ahvenainen, 1996; Avena-Bustillos et al., 1993; Brecht, 1995; Kim et al., 1994; Nicoli et al., 1994; Pripke et al., 1976; Rolle & Chism, 1987).

O escurecimento enzimático em frutas e hortaliças pode causar mudanças indesejáveis na qualidade durante o manuseio, processamento e armazenamento. Essa reação resulta, na maioria das vezes, da ação de enzimas como a polifenoloxidase e a peroxidase. As duas enzimas catalisam mais de uma

reação e agem sobre uma gama de substratos, não apenas causando o escurecimento, mas podendo levar à descoloração, odores indesejáveis e perdas nutricionais. A peroxidase pode se ligar ao peróxido de hidrogênio e produzir um complexo que reage com uma larga faixa de moléculas doadoras. A peroxidase é uma enzima vegetal associada aos odores indesejáveis em frutas e hortaliças. A inativação dessa enzima é considerada necessária para minimizar a possibilidade de deterioração (Ponce et al., 2004).

Como os consumidores preferem produtos frescos que são preparados para consumo sem perda dos atributos de qualidade como textura, sabor, aroma e aparência, vários estudos para aumentar a vida de prateleira de hortaliças minimamente processadas têm sido focados em métodos alternativos para inibir o escurecimento (FDA, 2001).

No presente trabalho, teve-se como objetivo avaliar a qualidade química, física e bioquímica de alfaces crespas minimamente processadas armazenadas sob refrigeração a 5 °C em embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Cabeças de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar Verônica foram colhidas em campos de produção comercial em Brasília, DF. O ponto de colheita utilizado foi o comercial, ou seja, cabeças completamente formadas, com aproximadamente 35 dias após o transplântio.

Após a colheita, o material foi levado rapidamente para o laboratório de pós-colheita da Embrapa Hortaliças, onde foi selecionado e as folhas foram lavadas em água corrente.

Logo após a pré-lavagem o material foi minimamente processado nas formas de folhas inteiras e tiras no sentido transversal com espessura de 5 mm.

2.2 Processamento mínimo

2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem

As folhas de alface foram selecionadas e padronizadas quanto ao tamanho e cor, sendo descartadas aquelas que apresentavam qualquer defeito aparente ou ataque por patógenos.

2.2.2 Corte (processamento)

As alfaces foram processadas como folha inteira e fatiadas na espessura de 5 ± 1 mm, em um processador de vegetais (Marca Robot Coupe CL 50), previamente higienizado com solução de hipoclorito de sódio (200 ppm de cloro ativo).

2.2.3 Enxágüe

Logo após o processamento, as alfaces foram lavadas com água limpa a 5 ± 1 °C, para que o excesso de matéria orgânica, proveniente do processamento, fosse retirado, evitando-se assim a formação de trihalometanos, bem como outras substâncias indesejáveis provenientes da formação de complexos de cloro com matéria orgânica.

2.2.4 Sanitização e enxágüe

As folhas foram imersas em solução sanitizante, contendo 150 ppm de cloro ativo a 5 ± 2 °C, por 5 minutos. Utilizou-se como sanitizante o produto comercial Sumaveg (Gessy Lever), que tem como princípio ativo o dicloro S-triazinatriona sódica diidratada. Logo após a sanitização, fez-se outro enxágüe com uma solução de 5 ppm de cloro ativo, a 5 ± 1 °C para retirar o excesso de cloro.

2.2.5 Centrifugação

As folhas de alface foram centrifugadas durante três minutos, utilizando-se uma centrífuga de pequeno porte que aplicava força centrífuga de aproximadamente 800 x g.

2.2.6 Embalagem

As amostras do produto minimamente processado foram, então, acondicionadas em filmes de polipropileno e polietileno de baixa densidade e seladas com o auxílio de uma seladora comercial (Selovac 200B).

2.2.7 Armazenamento

O produto embalado foi armazenado, sob refrigeração, em câmara fria mantida à temperatura de 5 °C durante 14 dias. A cada 2 dias, as alfaces foram avaliadas para as seguintes características químicas e físicas.

2.3 Sólidos solúveis totais

A determinação dos sólidos solúveis totais baseia-se na metodologia descrita por Moretti et al. (1998). No preparo da amostra para análise, as folhas foram homogeneizadas em um *mixer* por 3 minutos. O conteúdo de sólidos solúveis foi medido num refratômetro de mesa e expresso em graus brix. Antes de se fazer a leitura da amostra, o refratômetro foi calibrado com água destilada. A medição foi feita colocando-se uma pequena quantidade do material homogeneizado sobre a superfície do prisma, procedendo-se à leitura de forma direta.

2.4 Acidez titulável

A determinação da acidez total titulável baseia-se na metodologia descrita por Moretti et al. (1998). No preparo da amostra para análise, as folhas processadas foram homogeneizadas em um mixer ou liquidificador por 3 minutos. Pesaram-se 10 g do tecido fresco e centrifugou-se o homogenato a 17.600 g por 20 minutos. Tomaram-se 6 g do sobrenadante do tecido centrifugado e adicionaram-se 50 mL de água destilada.

Procedeu-se à titulação com NaOH (0,1 mol/L) até o pH 8,2, em que se considera que todo ácido cítrico, ácido orgânico predominante em alfaces, foi titulado. A acidez da solução foi expressa em miliequivalentes de ácido cítrico por kg de tecido fresco.

2.5 Determinação de cor

As variações de cor em alface crespa minimamente processada foram acompanhadas durante o período de armazenamento com o auxílio de um colorímetro (Minolta, modelo CR200B), L , a , b - da escala Hunter ($CTL^*a^*b^*$), em que o eixo a representa a cromaticidade entre as cores verde e vermelha, o eixo b , entre o amarelo e o azul e o L , o brilho.

2.6 Determinação da atividade da polifenoloxidase

Foram homogeneizados 10 g de alface e adicionados 10 mL de tampão fosfato 0,05 mol/L pH 7,0, por 3 minutos, em um *mixer*. O homogenato foi filtrado em papel Whatman nº 4 e centrifugado logo em seguida a 10.000 rpm por 10 minutos em centrífuga Hitachi (Himac CR 20 B2). O sobrenadante constituiu a fonte enzimática. Todo o procedimento acima descrito foi realizado a 4 °C.

Para o preparo da solução de determinação da polifenol oxidase foram pipetados 0,5 mL do extrato enzimático, 1,8 mL de tampão fosfato 0,10 mol /L (pH 7,0) e 0,050 mL de catecol 10 mM, que foi incubado por 30 minutos a 30 °C. A reação foi interrompida pela adição de 0,8 mL de ácido perclórico 2 mol /L à solução.

O branco foi preparado nas mesmas condições, apenas substituindo o extrato enzimático por água destilada. A leitura da absorvância foi feita na região do visível do espectrofotômetro Hitachi U-1100, no comprimento de onda de 395 nm. Os resultados da concentração de polifenoloxidase foram expressos em $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$.

2.7 Determinação da atividade da peroxidase

Para a determinação da peroxidase utilizou-se o mesmo extrato da determinação de atividade de polifenol oxidase. O método de análise seguido foi descrito por Hemeda & Klein (1990).

Para a determinação da atividade da peroxidase foram pipetados 3,0 mL do extrato enzimático, 5,0 mL do tampão fosfato - citrato 0,1 mol/L pH 5,0, 0,5 mL de H₂O₂ 3 % e 0,5 mL de guaiacol. A solução foi incubada a 30 °C por 5 minutos e interrompida pela adição de 1,0 mL de bissulfito de sódio a 30%.

O preparo do branco foi realizado sob as mesmas condições, substituindo-se o volume do extrato enzimático por água destilada. A absorvância foi determinada na região do visível do espectrofotômetro Hitachi U-1100, no comprimento de onda de 470 nm. Os resultados da concentração da peroxidase foram expressos em U.g⁻¹.min⁻¹.

2.8 Delineamento estatístico

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 32 tratamentos arranjados em esquema fatorial 2x2x8 (2 tipos de corte, 2 embalagens e 8 tempos de amostragem) com 3 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de diferença mínima significativa em teste de comparações múltiplas, em que as diferenças entre os dois tratamentos foi maior que a soma de dois desvios-padrões; foram consideradas significativas a 5% de probabilidade (Shamaila et al., 1992).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Concentração de sólidos solúveis totais

A concentração de sólidos solúveis totais nas amostras avaliadas não sofreu alteração significativa durante os 14 dias de armazenamento, para todos os tratamentos estudados (Figura1).

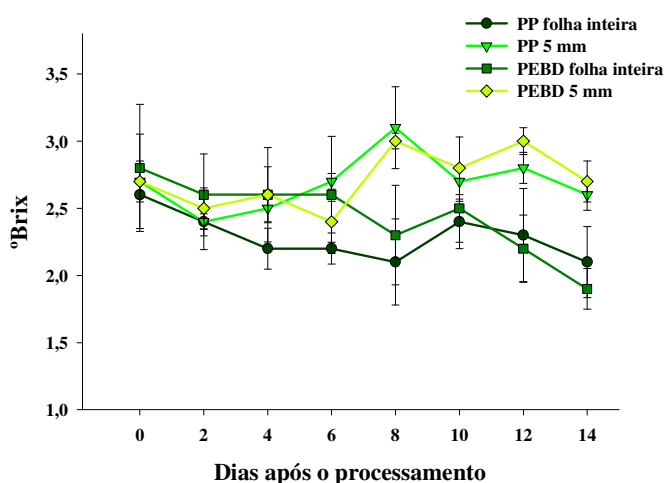


FIGURA 1 Concentração de sólidos solúveis em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm, em embalagens de PEBD e PP. Barras verticais representam \pm o desvio-padrão da média. PEBD = Polietileno de baixa densidade. PP = Polipropileno.

Verificou-se que o teor de sólidos solúveis totais para alface minimamente processada na forma de folha inteira variou entre 2,7 e 2,2 entre o primeiro e o último dia de armazenamento. Já para as folhas minimamente processadas com 5 mm de espessura, tais valores variaram entre 2,6 e 3,0.

Observou-se que nas folhas processadas com 5 mm de espessura, ocorreu pequena elevação no teor de sólidos solúveis totais, após o sexto dia de armazenamento, permanecendo com valores mais elevados do que as folhas minimamente processadas na forma inteira até o final do experimento. Acredita-

se que esse teor mais elevado na alface cortada a 5 mm possa ser explicado pela maior perda de água e conseqüente concentração dos sólidos solúveis, uma vez que a folha nestas condições possui maior relação superfície-volume, facilitando a perda de água e conseqüente concentração e elevação no brix.

3.2 Teor de acidez titulável

Observou-se que tanto na alface minimamente processada na forma de folhas inteiras quanto a 5 mm, observou-se tendência de redução do teor de ácidos orgânicos durante o período experimental (Figura 2).

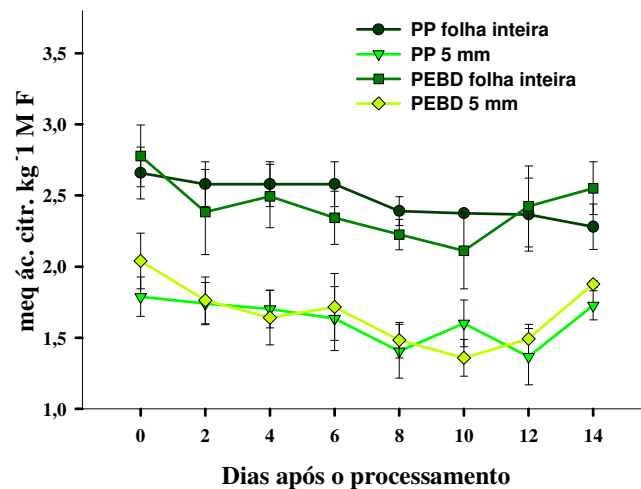


FIGURA 2 Teor de acidez titulável em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm, em embalagens de PEBD e PP, armazenadas sob 5°C. Barras verticais representam \pm o desvio-padrão da média. PEBD = Polietileno de baixa densidade. PP = Polipropileno.

O teor de ácidos orgânicos da alface minimamente processada como folha inteira foi sistematicamente maior do que as tiras a 5 mm durante todo o período experimental. No último dia de armazenamento, verificou-se que a acidez titulável da alface inteira, armazenada em embalagem de PEBD, era cerca de 42% maior do que o material processado a 5 mm e armazenado na mesma embalagem. De maneira similar, observou-se que o teor de ácidos orgânicos na

alface processada como folha inteira era ao redor de 35% maior do que das folhas minimamente processadas a 5 mm, quando se avaliou o material embalado em polipropileno (Figura 2).

Acredita-se que o menor teor de ácidos orgânicos observado no material processado a 5 mm, em ambas as embalagens, esteja relacionado com a maior atividade metabólica do tecido que sofreu maior estresse mecânico por ocasião do corte. Como os ácidos orgânicos também são substratos utilizados na atividade respiratória, o tecido que sofreu maior estresse mecânico (corte a 5 mm) apresentou menor teor ao final do período experimental.

O estresse mecânico está associado à elevação do pH e conseqüente redução no teor de ácidos orgânicos. Moretti et al. (1998) verificaram que tomates que não sofreram estresse mecânico possuíam maior teor de ácidos orgânicos. Acredita-se que a redução da acidez titulável em produtos minimamente processados seja uma conseqüência do metabolismo normal do CO₂ ou uma resposta do tecido ao neutralizar a acidez gerada pelo CO₂ (Kader, 1986).

3.3 Cor

3.3.1 Valor a*

Com exceção dos dois primeiros dias, não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos armazenados nas duas embalagens testadas, bem como nas diferentes formas de processamento mínimo para a variável a* (Figura 3).

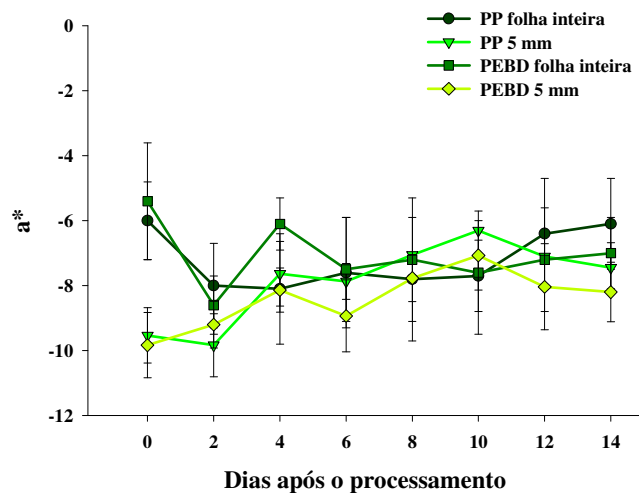


FIGURA 3 Valores de a^* de alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm em embalagens de PEBD e PP e armazenadas sob 5 °C. Barras verticais representam \pm o desvio-padrão da média. PEBD = Polietileno de baixa densidade. PP = Polipropileno.

Verificou-se que, com passar do tempo, houve uma tendência de elevação dos valores de a^* para todos os tratamentos conduzidos. Nos primeiros 4 dias de armazenamento, as alfaces embaladas em filme de polietileno de baixa densidade apresentavam valores para a variável a^* que eram ligeiramente menores do que os observados para o material embalado em filme de polipropileno (Figura 3).

A redução da coloração verde da alface minimamente processada, quer seja como folha inteira ou a 5 mm, está associada à degradação dos pigmentos clorofílicos devido ao estresse sofrido pelo tecido vegetal. Ishii et al. (1993) estudaram o efeito de injúrias mecânicas sobre o metabolismo de pigmentos e constataram que houve um aumento da síntese de pigmentos carotenóides e aceleração da degradação de clorofila subsequente à ocorrência das injúrias.

Basicamente, duas enzimas estariam envolvidas no processo de degradação: a clorofilase e a magnésio dequelatase. A primeira, com função

hidrolítica, é um componente natural das membranas dos tilacóides (Gross, 1991). A ocorrência de uma ruptura dessas estruturas, quer seja por meios mecânicos ou pela ação de um agente detergente, é suficiente para expor as moléculas de clorofila à ação das enzimas de degradação. A clorofilase quebra a molécula de clorofila originando fitol e uma parte porfirínica intacta, o chamado clorofilídeo. Tal alteração ainda não causaria mudança na coloração do tecido. Entretanto, a remoção do íon magnésio (Mg^{2+}) do grupamento porfirínico, em meio ácido, como o que existe no fruto durante o amadurecimento, pela ação da magnésio dequelatase (Gross, 1991), promoveria a formação de feofitina e a perda da cor verde. A retenção de níveis mais elevados de clorofila **a** nos tecidos injuriados possivelmente esteja relacionada à redução da atividade dessas enzimas.

3.3.2 Brilho (L*)

Observou-se que o brilho das alfaces minimamente processadas como folhas inteiras apresentaram valores sistematicamente maiores dos que os verificados para as folhas minimamente processadas a 5 mm (Figura 4).

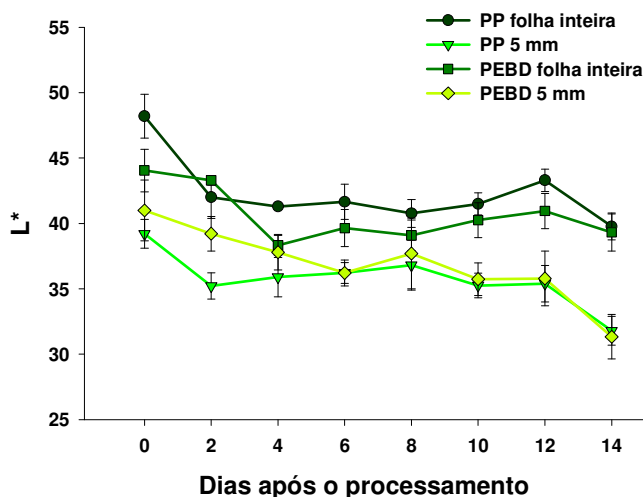


FIGURA 4 Brillho (L^*) de alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm em embalagens de PEBD e PP e armazenadas sob 5°C. Barras verticais representam \pm o desvio-padrão da média. PEBD = Polietileno de baixa densidade. PP = Polipropileno.

Verificou-se que, a partir do oitavo dia de armazenamento, as alfaces minimamente processadas como folhas inteiras embaladas em filme de polietileno de baixa densidade apresentaram ligeira tendência de elevação do brilho, enquanto a alface minimamente processada a 5mm, na mesma embalagem, apresentou tendência de redução do brilho. Ao final do experimento, o brilho das folhas inteiras embaladas em PEBD era aproximadamente 45% maior do que as processadas a 5 mm (Figura 5). Tendências similares foram verificadas para os materiais embalados em filme de polipropileno. A partir do décimo de armazenamento, as alfaces minimamente processadas como folhas inteiras apresentaram tendência de crescimento do brilho, ao passo que as processadas a 5 mm, na mesma embalagem,

apresentaram tendência de redução do brilho. No 14º de armazenamento, o brilho das alfaces minimamente processadas como folhas inteiras era cerca de 30% maior do que do material processado a 5 mm (Figura 5).

O escurecimento verificado em tecidos vegetais pode ser ocasionado tanto por processos não enzimáticos, os quais podem estar relacionados tanto com a degradação da vitamina C (Klein, 1987), quanto por processos enzimáticos que ocorrem por meio de reações oxidativas catalisadas por fenolases, como por exemplo, a PPO (Vaughn & Duke, 1984, McEvily & Iyengar, 1992, Schlimme, 1995).

O menor brilho apresentado de forma consistente pelo material processado a 5 mm, em comparação com o material processado como folha inteira, é explicado pelo fato de o estresse mecânico no primeiro caso ser maior, propiciando um contato mais efetivo entre substratos e enzimas associadas ao escurecimento enzimático causando, portanto, aumento do escurecimento enzimático e redução do brilho.

3.4 Atividade da polifenoloxidase

Verificou-se que o material minimamente processado a 5 mm apresentou maior atividade da enzima polifenoloxidase do que o material processado como folhas inteiras (Figura 5).

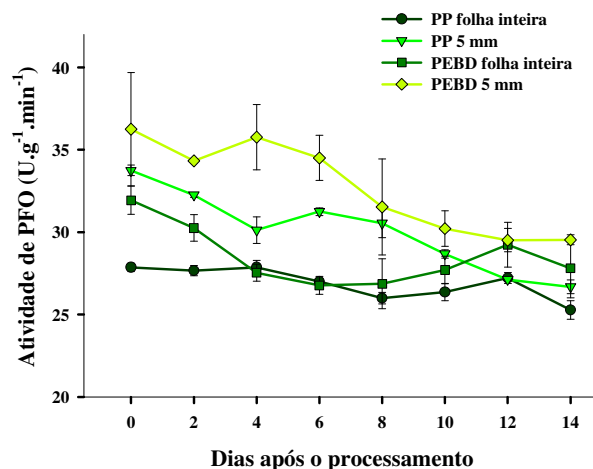


FIGURA 5 Atividade da polifenoloxidase em alfaces minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm, em embalagens de PEBD e PP e armazenadas sob 5°C. Barras verticais representam \pm o desvio padrão da média. PEBD = Polietileno de baixa densidade. PP = Polipropileno.

Na alface minimamente processada a 5 mm embalada tanto em filme de polietileno de baixa densidade quanto em polipropileno, verificou-se atividade da polifenoloxidase sistematicamente maior do que o material processado como folha inteira. A diferença na atividade da enzima foi significativamente maior no material minimamente processado a 5 mm em comparação ao material processado como folha, para ambas as embalagens, nos primeiros 10 dias de armazenamento. A partir desse ponto, as diferenças entre as folhas processadas a 5 mm e inteiras, em ambas as embalagens, não foi mais significativa (Figura 5).

A maior atividade da enzima polifenoloxidase nos materiais minimamente processados a 5 mm é uma consequência do maior estresse mecânico sofrido pelos tecidos, o que contribui para a redução do brilho desses materiais, conforme observado anteriormente (Figura 5). Adicionalmente, a

maior atividade da polifenoloxidase no material processado a 5 mm e embalado em filme de polietileno de baixa densidade, em comparação com o mesmo material todavia, embalado em filme de polipropileno, nos seis primeiros dias de armazenamento, pode ser explicada pela maior permeabilidade do polietileno de baixa densidade ao oxigênio, possibilitando que a enzima atuasse de forma mais efetiva na alface armazenada nessa embalagem. Tal fenômeno também foi observado para as alfaces processadas como folhas inteiras, e o material embalado em filme de PEBD apresentava maior atividade da enzima do que o material embalado em filme de PP. Todavia, em função de o estresse, nesse caso, ser menor, a diferença foi significativa apenas nos dois primeiros dias de armazenamento (Figura 5).

As alterações observadas no presente experimento na alface minimamente processada são totalmente compatíveis com as diferentes alterações relatadas na literatura mundial, por diversos autores. Os estresses mecânicos associados ao processamento mínimo ocasionam a perda de integridade celular na superfície cortada, colocando em contato enzimas e seus substratos que até então estavam em compartimentos celulares separados. Os estresses sofridos contribuem ainda para a elevação da taxa respiratória, da evolução de etileno e para a formação de compostos fenólicos solúveis (Ahvenainen, 1996; Brecht, 1995; Rolle & Chism, 1987).

3.5 Atividade da peroxidase

De maneira similar ao que foi observado para a polifenoloxidase, verificou-se que no material processado a 5 mm, ocorreu apresentou maior atividade da enzima peroxidase do que a alface processada como folhas inteiras (Figura 6).

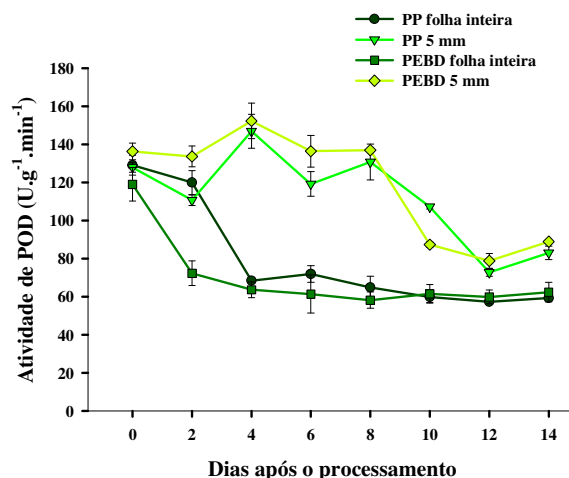


FIGURA 6 Atividade da peroxidase em alfices minimamente processadas em folhas inteiras e a 5 mm, em embalagens de PEBD e PP e armazenadas sob 5 °C. Barras verticais representam \pm o desvio-padrão da média. PEBD = Polietileno de baixa densidade. PP = Polipropileno.

Logo após o processamento mínimo, verificou-se que a atividade da peroxidase era estatisticamente igual tanto para as folhas inteiras como para as processadas a 5 mm. Verificou-se, entretanto, que tal diferença tornou-se significativa a partir do segundo dia de armazenamento (Figura 6). O estresse mecânico sofrido tanto pelo material processado a 5 mm quanto no processado como folhas inteiras apresentou uma taxa elevada na atividade da peroxidase logo após o processamento mínimo. Entretanto, como esse estresse foi mais pronunciado na alface minimamente processada a 5 mm, a atividade da enzima permaneceu mais elevada por mais tempo, decaindo após 10 dias de armazenamento refrigerado.

Contrariamente ao observado para a atividade da polifenoloxidase (Figura 5), não se observaram diferenças significativas entre as atividades da enzima peroxidase nas diferentes embalagens utilizadas para o mesmo tipo de processamento mínimo (Figura 6).

O escurecimento enzimático é um dos fatores limitantes que afetam a vida de prateleira de frutas e hortaliças minimamente processadas (Brecht, 1995). Em diversos trabalhos, tem-se observado que os estresses mecânicos aumentam a atividade respiratória (Moretti et al., 1998), perda de água (Chuma et al., 1984), bem como podem alterar (Moretti & Sargent, 2000) e aumentar a atividade de enzimas relacionadas com o escurecimento enzimático (Ke & Saltveit, 1989; Bower & Van Lelyveld, 1985; Nicoli *et al.*, 1994).

Os resultados obtidos no presente experimento estão de acordo com Moretti et al. (2002) que observaram que o estresse mecânico causado pelo processamento mínimo aumentou a atividade metabólica de forma significativa de raízes de batata-doce minimamente processadas. Esses pesquisadores verificaram também que o processamento mínimo elevou o escurecimento enzimático nas raízes, sobretudo na cultivar Princesa.

4 CONCLUSÕES

A concentração de sólidos solúveis totais na alface processada como folha inteira e como tiras a 5 mm, armazenadas em embalagens de PP e PEBD, não se alterou significativamente ao longo dos 14 dias de armazenamento. O mesmo pode ser observado para a cor (a^*).

Tanto a alface minimamente processada na forma de folhas inteiras quanto a 5 mm apresentaram uma pequena redução da concentração de ácidos orgânicos durante o armazenamento.

O Brilho (L^*) foi maior, nos 14 dias de estudo, para a alface minimamente processada como folha inteira, quando comparada àquela processada como tiras de 5 mm, isso ocorreu para as duas embalagens estudadas.

As atividades de polifenoloxidase e peroxidase foram maiores para o produto processado como tiras de 5 mm, para os dois sistemas de embalagem. Pode-se concluir que a alface minimamente processada como tiras de 5 mm sofreu maior estresse que o mesmo produto processado como folhas inteiras, diminuindo algumas características de qualidade químicas e físicas e as bioquímicas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Trends Food Science Technology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 179-187, June 1996.

AVENA-BUSTILLOS, R. J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. A.; KROCHTA, J. M.; SALTVEIT, M. E. Optimization of edible coatings on minimally processed carrots to reduce white blush using response surface methodology. **Transactions of the American Society for Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 36, n. 3, p. 801-805, May/June 1993.

BOWER, J. P.; VAN LELYVELD, L. J. The effects of stress history and container ventilation on avocado fruits polyphenol oxidase activity. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 60, n. 4, p. 545-547, Oct. 1985.

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-22, Feb. 1995.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems, minimally processed fruits and vegetables. In: **Postharvest technology of horticultural crops**. KADER, A. A. (Ed.). 2. ed. Davis: University California. Division of Horticultural and Natural Resources, 1992. p. 277-281.

CHUMA, Y.; MURATA, S.; IWAMOTO, M.; NISHIHARA, A.; HORI, Y. Donner strawberry transportation in refrigerated truck for 700 kilometers. **Annals of Agricultural Engineering Society**, St. Joseph, v. 45, n. 2, p. 292-297, 1984.

FDA. Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. 2001. 48 p. Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-6.html>>. Acesso em: 02 maio 2003.

GROSS, J. Carotenoids. In: GROSS, J. (Ed). **Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids**. New York: AVI Publishing, 1991. p. 75-128.

HEMEDA, H. M.; KLEIN, B. P. effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 1, p. 184-186, Jan./Feb. 1990.

ISHII, G.; CALBO, A. G.; SILVA, J. L. O. Effect of mechanical injury on ripeness and quality of mature green tomatoes. **Annual report from the department of applied plant physiology**. Osaka: NIVOT, 1993. p. 78-9.

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 5, p. 99-104, 1986.

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Plant hormone interaction and phenolic metabolism in the regulation of russet spotting in iceberg lettuce. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 4, p. 1136-1140, Dec. 1989.

KIM, D. M.; SMITH, N. L.; LEE, C. Y. Effect of heat treatment on firmness of apples and apple slices. **Journal of Food Processing Preservation**, Trumbull, v. 18, n. 1, p. 1-8, Mar. 1994.

KLEIN, B. P. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 10, n. 3, p. 179-193, 1987.

McEVILY, A. J.; IYENGAR, R. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. **Critical Review of Food Science Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 3, p. 253-273, 1992.

MORETTI, C. L.; ARAUJO, A. L.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Respiratory activity and browning of minimally processed sweetpotatoes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 497-500, set. 2002.

MORETTI, C. L.; SARGENTS, A.; HUBER, D. J.; CALBO, A. G.; PUSCHMANN, R. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule and placental tissues of tomatoes with internal bruising. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 4, p. 656-60, July 1998.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A. Alteração de aroma e sabor em frutos de tomate com desordem fisiológica causada por impacto. **Scientia Agrícola, Piracicaba**, v. 57, n. 3, p. 385-388, jul./set. 2000.

NICOLI, M. C.; ANESE, M.; SEVERINI, C. Combined effects in preventing enzymatic browning reactions in minimally processed fruit. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 17, n. 3, p. 221-229, 1994.

PRIEPKE, P. E.; WEI, L. S.; NELSON, A. I. Refrigerated storage of prepackaged salad vegetables. **Journal of Food Science**, Chicgo, v. 41, n. 2, p. 379, Mar./Apr. 1976.

PONCE, A. G.; VALLE, C. E. del; ROURA, S. I. Natural essential oils as reducing agents of peroxidase activity in leafy vegetables. **Lebensm.-Wiss. u.-Technology**, San Diego, v. 37, n. 2, p. 199-204, 2004.

ROLLE, R.; CHISM, G. W. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 10, n. 3, p. 157-177, 1987.

SCHLIMME, D. V. Marketing lightly processed fruits and vegetables.

HortScience, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 15-17, Feb. 1995.

SHAMAILA, M.; POWRIE, W. D.; SKURA, B. J. Sensory evaluation of strawberry fruit stored under modified atmosphere packaging (MAP) by quantitative descriptive analysis. **Journal of Food Science**, Chiacago, v. 57, n. 5, p. 1168-1172, Sept./Oct. 1992.

VAUGHN, K. C.; DUKE, S. O. Function of polyphenol oxidase in higher plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 60, n. . 1, p. 106-112, 1984.

WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. London: Chapman & Hall, 1994. 357 p.

CAPÍTULO 5

**QUALIDADE E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE ALFACE
CRESPA MINIMAMENTE PROCESSADA ARMAZENADA EM DOIS
SISTEMAS DE EMBALAGENS SOB ATMOSFERA MODIFICADA
ATIVA**

RESUMO

MATTOS, Leonora Mansur. Qualidade e comportamento fisiológico de alface crespa minimamente processada armazenada em dois sistemas de embalagens sob atmosfera modificada ativa. In: **Alface crespa minimamente processada: embalagem sob diferentes sistemas de atmosfera modificada e armazenamento refrigerado**. 2005. 136 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Um monitoramento rígido de temperatura e embalagem sob atmosfera modificada estão entre as maiores estratégias que podem ser usadas para minimizar efeitos danosos em produtos minimamente processados, tais como aumento na evolução de etileno e dióxido de carbono e modificações em compostos nutricionais. No presente trabalho, avaliou-se qualidade das alfaces crespas minimamente processadas, com análises de sólidos solúveis totais, acidez total titulável, clorofila, atividade de peroxidase e polifenoloxidase, armazenadas em embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade, processadas em folhas inteiras e a 5 mm, a 5 °C. E a atmosfera interna com análises de oxigênio, gás carbônico e etileno. Observou-se que para as atmosferas modificadas ativas que o aumento da concentração de CO₂ ocorreu entre o dia do processamento e o segundo dia após ele para a alface minimamente processada. A concentração de etileno teve um aumento nos primeiros dias de armazenamento para os dois tratamentos de atmosfera modificada ativa estudados, o que não foi constatado para o controle. O consumo de oxigênio da alface armazenada a 5% O₂ / 5% CO₂ foi mais rápido em relação aos outros tratamentos. O teor de clorofila total teve um perfil muito parecido, não havendo diferença significativa, para todos os tratamentos ao longo dos 14 dias de armazenamento. As atividades de peroxidase e polifenoloxidase aumentaram no início do armazenamento, ou seja, logo após o processamento para os tratamentos estudados. Concluiu-se que a atmosfera modificada ativa não teve efeito significativo para a alface minimamente processada nas condições estudadas.

* Comitê orientador: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Orientador), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Orientador), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

ABSTRACT

MATTOS, Leonora Mansur. Quality and physiological behavior of fresh-cut crisphead lettuce stored at two different packaging systems under active modified atmosphere. In: **Minimally processed crisphead lettuce: packed under different modified atmosphere systems and refrigerated storage**. 2005. 136 p. Thesis (Doctorate in Food Science)*. Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

Strict temperature control and packaging under modified atmosphere are among the most important strategies that are used to minimize the harmful effects observed in fresh-cut products, such as increase in carbon dioxide and ethylene evolution and changes in nutritional compounds. The quality of fresh-cut lettuce was evaluated in the present experiment, focusing total soluble solids, titratable acidity, chlorophyll, polyphenoloxidase and peroxidase activity. The product was packed in polypropylene (PP) and low density polyethylene (LDPE) bags, either sliced at 5 mm or as whole leaves and stored at 5 °C. The atmosphere inside the package was evaluated for carbon dioxide, ethylene, and oxygen during storage. It was observed that carbon dioxide increase during the first two days of storage for packages with active modified atmosphere. Ethylene concentration increase for both the active modified atmosphere treatments but no significant changes were observed for the control. The consumption of oxygen was more pronounced in fresh-cut lettuce stored under active modified atmosphere (5% O₂ / 5% CO₂) when compared to other treatments. Chlorophyll content had a similar behavior for all treatments along the 14-day storage period, showing no significant differences. Polyphenoloxidase and peroxidase activity increased in the beginning of the storage period, right after processing, for all studied treatments. It was concluded that active modified atmosphere had no significant effect for fresh-cut lettuce considering the conditions the experiment was carried out.

* Guidance Committee: Adimilson Bosco Chitarra – UFLA (Advisor), Celso Luiz Moretti – EMBRAPA (Advisor), Maria Isabel Fernandes Chitarra – UFLA

1 INTRODUÇÃO

Todos os produtos minimamente processados são produtos altamente perecíveis com rápida perda de qualidade durante o armazenamento no ambiente de estocagem. Os produtos minimamente processados são mais perecíveis que os produtos frescos intactos, devido às injúrias que sofrem durante o processamento e por isso requerem maiores cuidados durante o seu armazenamento (Brecht, 1995; Cantwell, 1992).

Os produtos minimamente processados têm como características principais o seu frescor e a sua praticidade de uso. Essas duas características aliadas têm feito com que as vendas dos produtos minimamente processados venham crescendo no Brasil rapidamente na última década (Cantwell, 1992).

A temperatura, a concentração de gases e a umidade relativa dentro da embalagem são, provavelmente, os fatores de maior destaque que incidem sobre a determinação do período de vida útil do produto vegetal fresco. Na vida pós-colheita de frutos e hortaliças, a temperatura se destaca, pois seus efeitos não só são drásticos para as taxas respiratórias, como também para outras reações biológicas e bioquímicas que se processam após a colheita (Kader, 2002).

A maioria das enzimas perde a sua atividade depois de serem mantidas durante só alguns minutos a 60 °C. Embora se saiba que há exceções, muitas enzimas de alimentos são sensíveis ao calor. Temperaturas baixas são efetivas para reduzir a velocidade da taxa metabólica e, assim, retardar o colapso metabólico dos tecidos. A taxa de reações biológicas e bioquímicas normalmente diminui de duas a quatro vezes para cada 10 °C de diminuição em temperatura. Abaixando-se a temperatura de 10 °C para 0 °C diminui-se a atividade enzimática à metade (King & Bolin, 1989).

Diversos métodos e processos de armazenamento foram desenvolvidos para

diminuir e até mesmo combater os fatores de deterioração. Para isso, geralmente, o emprego de calor para branquear, pasteurizar, cozinhar, etc., ou mesmo processos de desinfecção de alimentos, são estabelecidos (Hoover, 1997). Entretanto, o processo térmico normalmente diminui a qualidade sensorial e nutricional, e os produtos perdem as características de fresco. Assim, métodos tradicionais não térmicos vêm sendo utilizados para preservar frutas e hortaliças minimamente processadas, e incluem lavagem com substâncias químicas sanitizantes, armazenamento em baixas temperaturas, embalagem utilizando atmosfera controlada ou modificada, embalagem a vácuo moderado, redução de pH com o uso de soluções acidulantes, uso de filmes e revestimentos, comestíveis (Ahvenainen, 1996; Hoover, 1997; Khurdiya, 1995).

Como resposta ao consumo aumentado de frutas e hortaliças frescas, juntamente com a necessidade de oferecer produtos de qualidade, novas tecnologias de embalagem e armazenamento têm sido desenvolvidas. O uso de gases na embalagem de produtos vegetais ou, ainda, a utilização de vácuo parcial, têm por finalidade inibir ou retardar os processos fisiológicos, como respiração, amadurecimento e deterioração, conseqüentemente prolongando a vida útil de frutas e hortaliças frescas (Floros, 1993). Pripke et al. (1976) realizaram a avaliação da produção de CO₂ e consumo de O₂ para determinar os efeitos de várias condições ambientais e taxa respiratória que, após dois dias de armazenamento, o acúmulo de CO₂ nas embalagens de alfaces cortadas foi maior que no produto intacto.

As hortaliças são normalmente embaladas em filmes semipermeáveis. As concentrações de O₂ utilizadas são de 2 a 3% e de CO₂, 3 a 10%. Os gases combinados juntamente com a refrigeração reduzem a respiração do produto, diminuindo o metabolismo fisiológico e estendendo a vida útil do alimento (O'Beirne & Ballantyne, 1987).

Para alface minimamente processada, o tempo para indução do escurecimento é

longo quando comparado com a vida de prateleira, já que o escurecimento nas bordas cortadas é um problema mais sério, alguns autores sugerem que esse produto deve ser mantido em embalagens com atmosfera modificada com a concentração de O₂ variando entre 0,5 e 3% e a concentração de CO₂ entre 10 e 15%, quando armazenado entre 0 e 5 °C (Gorny, 2001).

Na maioria dos estudos conduzidos, adotam-se tecnologias de embalagem com uso de atmosfera controlada ou modificada. Adota-se a modificação da composição de gases no interior da embalagem, com o intuito de reduzir a sua velocidade de senescência normal ou deterioração (Awad, 1993; Floros, 1993; Hotchkiss & Banco, 1992; Manzano et al., 1995; Mohd-Som et al., 1994; Piergiovanni et al., 1999; Ronk et al., 1989; Senesi et al., 1999; Shewfelt, 1986). Concentrações de CO₂ entre 5% e 20% reduzem, efetivamente, a taxa respiratória da maioria dos produtos hortícolas. O aumento da respiração, que pode ocorrer em alguns produtos associado à elevação da concentração de CO₂, pode ser consequência da injúria causada pelo excesso do gás (Mathooko, 1996). A exposição ao O₂ pode reduzir as taxas de respiração e produção de etileno, dependendo do vegetal, estágio de maturação, concentração de O₂, tempo de armazenamento e temperatura, e ainda, concentração de CO₂ e C₂H₄ presentes na atmosfera. Altas concentrações de O₂ aumentam os efeitos do etileno em frutas e hortaliças frescas, incluindo amadurecimento, senescência e desordem fisiológica (Kadera & Ben-Yehoshuab, 2000).

Altas concentrações de O₂ em alfaces minimamente processadas colaboraram para a diminuição dos antioxidantes naturais (Kadera & Ben-Yehoshuab, 2000). O sistema de embalagem, segundo Manzano et al. (1995), influi fundamentalmente na atividade metabólica dos produtos vegetais. Por isso, a escolha das concentrações de CO₂ e O₂, o tipo de filme e a temperatura de armazenamento são muito importantes. A composição dos gases nas embalagens utilizando atmosfera modificada geralmente está em função da permeabilidade

do filme escolhido, do comportamento respiratório e das mudanças nas características do produto (Cameron et al., 1995).

Neste trabalho, teve-se como objetivos avaliar qualidade das alfaces crespas minimamente processadas, com análises de sólidos solúveis totais, acidez total titulável, clorofila, atividade de peroxidase e polifenoloxidase, armazenadas em embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade, processadas em folhas inteiras e a 5 mm, a 5 °C. E a atmosfera interna com análises de oxigênio, gás carbônico e etileno para os mesmos tratamentos citados acima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Cabeças de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar Verônica foram colhidas em campos de produção comercial em Brasília, DF. O ponto de colheita utilizado foi o comercial, ou seja, cabeças completamente formadas, com aproximadamente 35 dias após o transplante.

Após a colheita, o material foi levado rapidamente para o laboratório de pós-colheita da Embrapa Hortaliças, onde foi selecionado e as folhas foram lavadas em água corrente.

Logo após a pré-lavagem, o material foi minimamente processado em tiras no sentido transversal com espessura de 5 mm.

2.2 Processamento mínimo

2.2.1 Seleção, padronização e pré-lavagem

As folhas de alface foram selecionadas e padronizadas quanto ao tamanho e cor, sendo descartadas aquelas que apresentavam qualquer defeito aparente ou ataque por patógenos.

2.2.2 Corte (processamento)

As alfaces foram processadas na espessura de 5 ± 1 mm em um processador de vegetais (marca Robot Coupe), previamente higienizado com solução de hipoclorito de sódio (200 ppm de cloro ativo).

2.2.3 Enxágüe

Logo após o processamento, as alfaces foram lavadas com água limpa a 5 ± 1 °C, para que o excesso de matéria orgânica proveniente do processamento fosse retirado, evitando-se assim a formação de trihalometanos, assim como outras substâncias indesejáveis provenientes da formação de complexos de cloro com matéria orgânica.

2.2.4 Sanitização e enxágüe

As folhas foram imersas em solução sanitizante, contendo 150 ppm de cloroativo a 5 ± 2 °C, por 5 minutos. Utilizou-se como sanitizante o produto comercial Sumaveg (Gessy Lever), que tem como princípio ativo o dicloro S-triazinatriona sódica diidratada. Logo após a sanitização fez-se outro enxágüe com uma solução de 5 ppm de cloro ativo, a 5 ± 1 °C.

2.2.5 Centrifugação

As folhas de alface foram centrifugadas durante 3 minutos, utilizando-se uma centrífuga de pequeno porte que aplicava força centrífuga de aproximadamente 800 x g.

2.2.6 Embalagem

As amostras do produto minimamente processado foram, então, acondicionadas em dois diferentes filmes e seladas com injeção de gases.

Para a injeção de misturas de gases, nos tratamentos com modificação ativa de atmosfera, foi realizada em uma seladora (Selovac) após a formação de vácuo parcial na embalagem. Foram injetadas misturas de gases comerciais para alimentos, balanceadas com nitrogênio.

2.2.7 Armazenamento

O produto embalado foi armazenado, por 14 dias, sob refrigeração, em câmaras frias, na temperatura de 5 °C.

As amostras de alface descritas acima foram utilizadas nas pesquisas, conforme descrito nos experimentos seguintes.

2.3 Determinação das concentrações de dióxido de carbono e etileno no interior das embalagens

Após selagem das embalagens (Seladora Selovac 200B), contendo 200 g cada, o produto foi mantido por 14 dias, à temperatura de 5 ± 1 °C, em câmara fria. Durante 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 dias de armazenamento, foram retiradas amostras para a análise de dióxido de carbono (CO₂), etileno (C₂H₄) e oxigênio (O₂).

As concentrações de CO₂ e C₂H₄ na atmosfera interna das embalagens foram determinadas no intervalo de 2 dias durante os 12 dias de armazenamento, após o processamento. Foram coletadas alíquotas de 1,0 mL da atmosfera interna das embalagens plásticas, que foram retiradas com o auxílio de uma seringa hipodérmica com capacidade de 1 mL, inserindo a agulha no septo de silicone da embalagem.

As amostras foram injetadas no cromatógrafo a gás, marca CG, equipado com detector de condutividade térmica e coluna empacotada com Porapak-Q (60 –100 mesh, 1m de comprimento e 3,2 mm de diâmetro interno). Utilizou-se como gás de arraste o nitrogênio (N₂ – 80 kPa), com o fluxo de 40 – 45 mL min⁻¹.

O padrão de dióxido de carbono, na concentração de 10 mL.L⁻¹, foi injetado nas mesmas condições descritas para as amostras.

A quantificação das concentrações de CO₂, dentro das embalagens, foi feita pela comparação do pico produzido pela amostra com aquele produzido

pela aplicação de uma alíquota de 1,0 mL do padrão de CO₂, sendo a concentração estimada, na matéria fresca, em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

A concentração de etileno do material processado foi quantificada utilizando-se o mesmo cromatógrafo a gás (marca CG), equipado com um detector de ionização de chama e coluna empacotada com Porapak-Q (60 –100 mesh, 1 m de comprimento e 3,2 mm de diâmetro interno). A pressão e o fluxo do N₂ (gás de arraste), do ar sintético e do hidrogênio (H₂) foram respectivamente 80 kPa (40 – 45 mL min⁻¹), 30 kPa (30 mL min⁻¹) e 50 kPa (35 mL min⁻¹). A quantificação do C₂H₄ liberado foi feita comparando-se a área do pico da amostra com a área produzida pela aplicação de uma alíquota de 1,0 mL de um padrão com 502 ppm de C₂H₄. A concentração de etileno, na matéria fresca, foi estimada em µL C₂H₄ L⁻¹ h⁻¹.

2.4 Determinação da concentração de oxigênio nas embalagens plásticas

A concentração de O₂ na atmosfera interna das embalagens foram determinadas no intervalo de 2 dias durante os 14 dias de armazenamento, após o processamento. Foram coletadas alíquotas de aproximadamente 1,0 mL da atmosfera interna das embalagens plásticas. As amostras foram retiradas com o auxílio de uma seringa hipodérmica com capacidade de 1 mL, inserindo a agulha no septo de silicone da embalagem.

Para iniciar a medição, colocam-se as soluções nos frascos e com a seringa de 20 mL, enchem-se os tubos. A extremidade de cada tubo fica conectada no frasco de coleta de efluente correspondente. Deixa-se o ácido diluído escorrer por gravidade através da pipeta, abrindo-se a torneira do frasco móvel.

As amostras de aproximadamente 0,2 mL, quantidade suficiente para formar uma bolha de 5,0 cm, foram injetadas no tubo do aparelho; após a

injeção, a torneira do frasco móvel é fechada. A bolha formada foi medida inicialmente (V_1). O frasco móvel foi abaixado para que o seu nível de água ficasse inferior ao nível da pipeta. Com a abertura de sua torneira, é possível movimentar a bolha.

Após a bolha movimentar-se para a direita e para a esquerda por três vezes, a torneira foi novamente fechada e o volume da amostra gasosa foi medido com o auxílio de um paquímetro. Essa medição é o volume ou o comprimento inicial da amostra gasosa (V_1) no cilindro graduado que é a pipeta.

A quantidade de CO_2 na amostra, foi medida com a remoção do tubo de solução acidulada e inserção do tubo de solução de NaOH . A água do frasco móvel foi colocada em nível inferior ao da pipeta e a torneira foi aberta, fazendo com que a bolha movimentasse para a direção esquerda da pipeta, em seguida levantou-se o nível do frasco móvel, fazendo com que a solução se movimentasse para a direita. A bolha foi movimentada por três vezes, da esquerda para a direita e, logo após, foi colocada na posição de medição para que fosse feita nova leitura do volume, que se refere à leitura do volume da amostra gasosa desprovida de CO_2 (V_2).

A quantidade de O_2 na amostra foi medida com a remoção do tubo de solução de NaOH da saída da pipeta e introdução do tubo de pirogalol. O nível da água do frasco móvel foi colocado abaixo do nível da pipeta e a torneira foi aberta para que a bolha se movimentasse da esquerda até o fim do tubo, depois o nível do frasco móvel foi levantado e a amostra gasosa se movimentou para a direita, até chegar próximo ao fim da pipeta. Esse movimento foi repetido por três vezes. O volume remanescente na amostra gasosa foi medido com o auxílio do paquímetro, sendo essa a medida do volume da amostra desprovida de CO_2 e de O_2 (V_3).

Para o cálculo da porcentagem de CO_2 e de O_2 , utilizaram-se as respectivas equações:

$$\%CO_2 = (V_1 - V_2)/V_1 \text{ e } \%O_2 = (V_3 - V_2)/V_1.$$

2.5 Clorofila

A determinação da clorofila total foi baseada na metodologia descrita por Inskeep & Bloom (1985), com modificações realizadas no preparo da amostra, que são descritas abaixo.

2.5.1 Preparo da amostra

Pesaram-se 5 g da alface que foram transferidas para um almofariz, adicionando 10 mL do solvente N,N-dimetilformamida (DMF) e, com o auxílio de um pistilo, fez-se a maceração do material até se obter um macerado uniforme. Transferiu-se o material para frascos protegidos com papel alumínio, para evitar a fotodegradação dos pigmentos clorofílicos e adicionaram-se 10 mL de DMF. Os frascos foram armazenados a 4°C por 7 dias, e levados à agitação por 24 h.

2.5.2 Procedimento de análise

Após a agitação, filtrou-se o solvente em papel-filtro Whatmann n° 4 e leitura foi realizada em espectrofotômetro Beckman, nos comprimentos de onda de 647nm e 664,5nm. A concentração de pigmentos foi expressa em mg.Kg⁻¹ e calculada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Clorofila total} = 17,95 * A_{647} + 7,90 * A_{664,5}$$

2.6 Atividade enzimática

2.6.1 Extração de Polifenoloxidase e Peroxidase

Tomaram-se 10 g de tecido vegetal, fez-se novamente a suspensão em 20 mL de tampão fosfato 0,05 mol/L pH 7,0, homogeneizou-se por 3 minutos em um *mixer*. O homogenato foi filtrado em papel Whatman n° 1 e centrifugado logo em seguida (10.000 rpm / 10 minutos). O sobrenadante constituiu a fonte enzimática. Todo o procedimento foi realizado a 4 °C.

2.6.2 Determinação da atividade da Polifenoloxidase- PPO

Para o preparo da solução de determinação da polifenol oxidase, pipetou-se 0,5 mL do extrato enzimático, 1,8 mL de tampão fosfato 0,10 mol /L (pH 7,0) e 0,050 mL de catecol 10 mM, que foi incubado por 30 minutos a 30 °C. A reação foi interrompida pela adição de 0,8 mL de ácido perclórico 2N à solução.

O branco foi preparado nas mesmas condições, apenas substituindo o extrato enzimático por água destilada. A leitura da absorvância foi feita no comprimento de onda de 395 nm. A concentração de polifenoloxidase foi expressa em $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$.

2.6.3 Determinação de Atividade da Peroxidase-POD

Para a determinação da peroxidase utilizou-se o mesmo extrato da determinação de atividade de polifenol oxidase.

Para a determinação da atividade da peroxidase pipetaram-se 3,0 mL do extrato enzimático, 5,0 mL do tampão fosfato - citrato 0,1 mol/L pH 5,0, 0,5 mL de H₂O₂ 3 % e 0,5 mL de guaiacol. A solução foi incubada a 30 °C por 5 minutos e interrompida pela adição de 1,0 mL de bissulfito de sódio a 30%.

O preparo do branco foi realizado sob as mesmas condições, substituindo-se o volume do extrato enzimático por água destilada. A absorvância foi determinada no comprimento de onda de 470 nm. A concentração de peroxidase foi expressa em $\text{U.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação da concentração de dióxido de carbono em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

Verificou-se que o aumento da concentração de CO₂ ocorreu entre o dia do processamento e o segundo dia após esse processo para os três tratamentos (Figura 1).

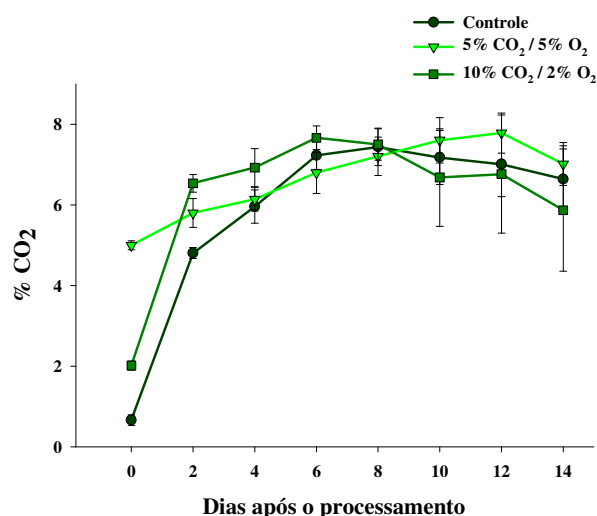


FIGURA 1 Concentração de dióxido de carbono em alfaces minimamente processadas a 5 mm, na temperatura de 5 °C, embaladas em polipropileno, sob atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

Durante o período experimental, a alface processada e embalada com atmosfera de 5% O₂ / 5% CO₂ teve um aumento na produção de CO₂ de aproximadamente 2 vezes durante o armazenamento, enquanto o produto embalado em 10% CO₂ / 2% O₂ teve um aumento de quase 3 vezes na concentração de CO₂.

Após o segundo dia de armazenamento a concentração de CO₂ foi mantida para todos os tratamentos. Não havendo diferença significativa entre os

tratamentos e o controle. Martinez et al. (1999) observaram que entre o 3º e 4º dias de armazenamento a concentração de CO₂ foi estabelecida.

De acordo com Brecht (1995), a produção de dióxido de carbono aumenta no tecido em processo de cura uma vez que a respiração é estimulada não apenas para fornecer energia, mas também sintetizar as moléculas necessárias para o restabelecimento do tecido. Isto explica o motivo do aumento nos primeiros dias de armazenamento.

3.2 Determinação da concentração de etileno em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

Observou-se que houve um aumento na concentração de etileno entre o dia do processamento e o segundo dia de armazenamento para os dois tratamentos estudados, o que não foi constatado para o controle (Figura 2).

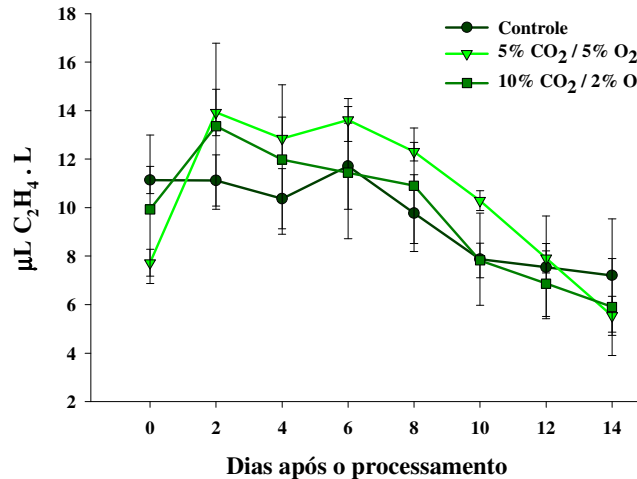


FIGURA 2 Concentração de etileno em alfaces minimamente processadas a 5 mm, na temperatura de 5 °C, embaladas em polipropileno, sob atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

A alface embalada sob atmosfera de 5% O₂ / 5% CO₂ teve um aumento na concentração de etileno apenas entre o processamento e o segundo dia após essa operação. Verificou-se uma diminuição logo após o segundo dia de armazenamento e essa diminuição pode ser observada até o último dia de avaliação.

Para a alface embalada sob atmosfera de 10% CO₂ / 2% O₂ observou-se um aumento na concentração de etileno após o processamento até o segundo dia de armazenamento, não havendo diferença significativa entre os tratamentos no segundo dia de armazenamento. Verificou-se que a concentração de etileno se manteve alta até o sexto dia de armazenamento, o que diferiu do produto embalado a 5% O₂ / 5% CO₂. Depois do 6º dia, houve uma diminuição da taxa de etileno e ao 14º dia de armazenamento, não houve diferença significativa entre os três tratamentos estudados.

Brecht (1995) comparando produção de etileno em alface minimamente processada e discos retirados do pericarpo de tomates no estágio verde-maduro, e ainda, exemplificando como tecidos não climatéricos e climatéricos, respectivamente, observou que máxima produção de etileno da alface ao estresse mecânico foi de 0,6 µL.g⁻¹.h⁻¹ (Ke & Saltveit, 1989), enquanto do tomate foi de 8,0 µL. g⁻¹.h⁻¹ (Brecht, 1995). A produção elevada de etileno na alface durou menos de um dia, já no tomate ainda era elevada após duas semanas.

3.3 Determinação da concentração de oxigênio em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

O consumo de oxigênio da alface armazenada a 5% O₂ / 5% CO₂ foi mais rápido quando comparado aos outros tratamentos (Figura 3).

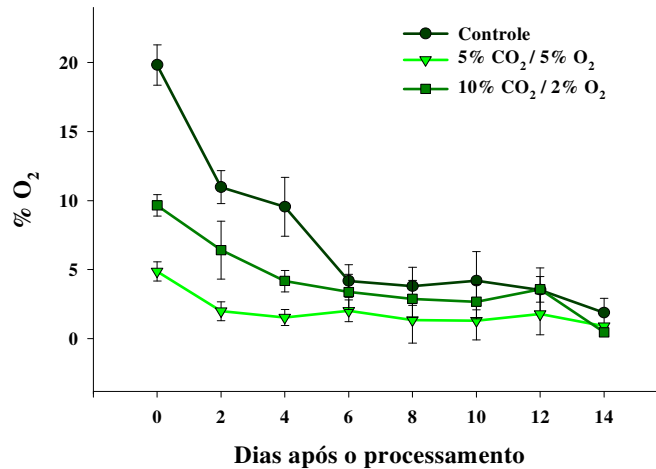


FIGURA 3 Concentração de oxigênio em alfaces minimamente processadas a 5 mm, na temperatura de 5 °C, embaladas em polipropileno, sob atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

A concentração inicial de oxigênio para a alface embalada sob atmosfera de 5% O₂ / 5% CO₂ foi bastante próxima a 5%, conforme esperado, mas entre o dia do processamento e o segundo dia de armazenamento a concentração de oxigênio diminuiu em mais de 50%. Essa concentração foi mantida ao longo dos 14 dias de armazenamento.

Houve um consumo de oxigênio pelo produto e não houve troca do gás entre o ambiente e a embalagem de polipropileno.

Para o produto embalado em atmosfera de 10% CO₂ / 2% O₂, a concentração inicial de oxigênio foi o dobro do produto armazenado sob atmosfera de 5% O₂ / 5% CO₂, conforme esperado.

Verificou-se, para esse tratamento, uma diminuição gradativa da concentração de oxigênio entre o dia do processamento e o sexto dia de

armazenamento. O que descreve um consumo mais lento de oxigênio pelo produto.

Observou-se uma diminuição maior de oxigênio entre o dia do processamento e o segundo dia de armazenamento, para material armazenado sob atmosfera passiva, sendo cerca de 50%. Ao sexto dia, a concentração de oxigênio teve uma redução de duas vezes em relação ao quarto dia de armazenamento.

Após o sexto dia de armazenamento, houve uma estabilização da concentração de oxigênio para todos os tratamentos estudados. No último dia de avaliação, não houve diferença significativa entre as concentrações de oxigênio dos tratamentos.

Após o oitavo dia de armazenamento, observou-se um odor desagradável quando as embalagens, em que composições de gases diferentes à do ambiente foram injetadas, eram abertas, o que pode ser atribuído à concentração reduzida de oxigênio no interior dessas embalagens, provocando uma respiração anaeróbica.

Baixa concentração de oxigênio reduz a respiração, a síntese e a ação de etileno, mas pode também estimular a respiração anaeróbica, a produção de aromas indesejáveis e possível crescimento microbiano. Níveis de oxigênio em torno de 0,5% ainda estão acima do limite teórico para respiração aeróbica. Entretanto, a respiração e as barreiras de difusão entre o tecido e a embalagem podem produzir níveis internos de O₂ que induzem metabolismo fermentativo no tecido a níveis externos de O₂ relativamente altos (Saltveit, 2003).

Em estudo realizado com alface, Saltveit (2003) relatou que a respiração deveria ser significativamente reduzida e o tempo de armazenamento ser aumentado para todas as cabeças de alface armazenadas a uma atmosfera de 2% de oxigênio.

3.4 Determinação de clorofila em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

Observou-se que o comportamento do teor de clorofila total foi muito parecido para todos os tratamentos durante os 14 dias de armazenamento (Figura 4).

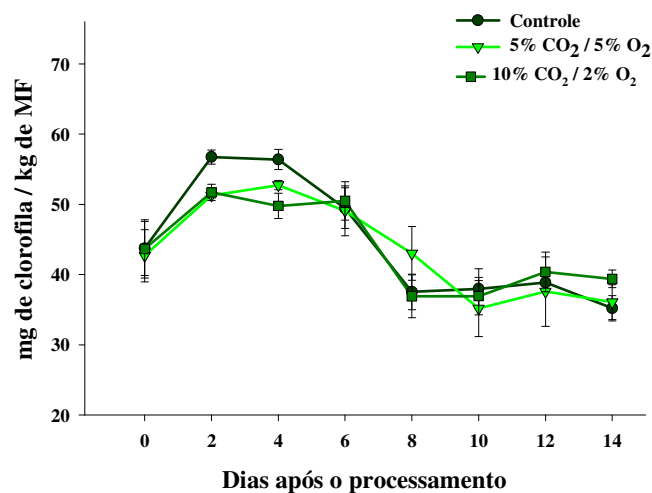


FIGURA 4 Concentração de clorofila em alfaces minimamente processadas a 5 mm, na temperatura de 5 °C, embaladas em polipropileno, sob atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

MF = matéria fresca.

Logo após o processamento, verificou-se que o teor de clorofila total foi praticamente o mesmo para todos os tratamentos.

Ao longo do armazenamento, observou-se que não houve diferença significativa entre o comportamento do material armazenado a 5% O₂ / 5% CO₂ e do produto armazenado a 10% CO₂ / 2% O₂. Verificou-se, ainda, que a

degradação da clorofila ocorreu entre o sexto e o oitavo dias de armazenamento, para os dois tratamentos estudados.

Constatou-se para o controle, tratamento em atmosfera modificada passiva, que a diminuição do teor de clorofila total ocorreu mais lentamente, quando comparado aos outros tratamentos, sendo evidenciada entre o sexto e o décimo dias após o processamento.

Esse fato pode ser explicado pelos dados obtidos do consumo de oxigênio para o mesmo produto. Ao sexto dia de armazenamento, a concentração de oxigênio, tanto do produto armazenado a 5% O₂ / 5% CO₂ quanto do armazenado a 10% CO₂ / 2% O₂, era praticamente mínima. E, ainda, observando os mesmos dados podemos constatar que o consumo de oxigênio do controle ocorreu mais vagorosamente quando comparado aos outros tratamentos.

Pelos resultados relatados por Watada et al. (1990), verificou-se que as vias da degradação da clorofila diferem entre espécies de plantas e ainda é desconhecido o papel do etileno na ativação de outras vias de degradação. Altas concentrações de CO₂ podem causar toxicidade através da dissolução dos líquidos celulares, com uma diminuição do pH que pode acarretar outras desordens fisiológicas. A destruição da clorofila, que leva ao amarelecimento indesejável em hortaliças folhosas, pode ser uma consequência destas mudanças de pH.

Yamauchi & Watada (1991) reportam que a degradação da clorofila constitui um bom indicador da condição fisiológica de tecidos de plantas verdes.

3.5 Determinação da atividade de peroxidase em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

Logo após o processamento, observou-se um comportamento muito parecido para os produtos de todos os tratamentos estudados (Figura 5).

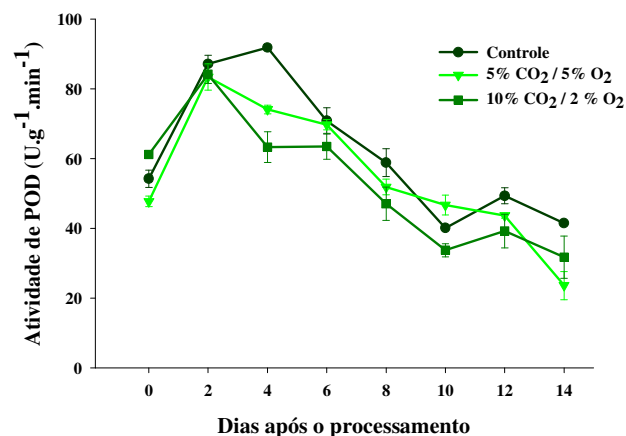


FIGURA 5 Concentração da atividade de peroxidase em alfices minimamente processadas a 5 mm, na temperatura de 5 °C, embaladas em polipropileno, sob atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

A atividade da peroxidase teve um aumento entre o processamento e o segundo dia de armazenamento para o material armazenado sob atmosfera de 5% O₂ / 5% CO₂. O mesmo pode ser verificado para o produto armazenado sob atmosfera de 10% CO₂ / 2% O₂.

Após o segundo dia de armazenamento, a atividade dessa enzima diminuiu e essa redução pode ser observada ao longo dos dias seguintes de armazenamento, chegando a ser de aproximadamente duas vezes para o produto a 5% CO₂ / 5% O₂ e 1,5 vez para o produto a 10% CO₂ / 2% O₂. Constatou-se que não houve diferença significativa para esses dois tratamentos.

Notou-se um perfil parecido para o produto armazenado sob atmosfera modificada passiva, diferenciando apenas nos primeiros dias de armazenamento.

Verificou-se um aumento da atividade dessa enzima entre o segundo e o quarto dias de armazenamento, podendo estar relacionado ao oxigênio

disponível na embalagem desse produto. Após o quarto dia, observou-se uma redução na atividade da peroxidase até o último dia de avaliação.

3.6 Determinação da atividade da polifenoloxidase em alface crespa minimamente processada a 5 mm, armazenada sob a temperatura de 5 °C e duas atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

O aumento da atividade de polifenoloxidase pode ser observado no início do armazenamento para os tratamentos estudados (Figura 6).

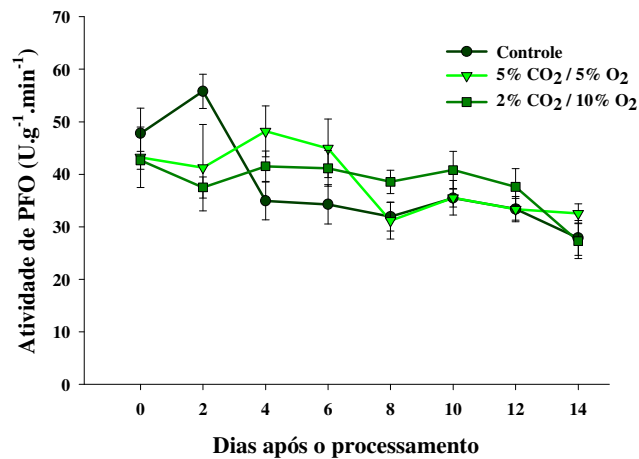


FIGURA 6 Concentração da atividade de polifenoloxidase em alfaces minimamente processadas a 5 mm, na temperatura de 5 °C, embaladas em polipropileno, sob atmosferas de 5% O₂ / 5% CO₂ e 10% CO₂ / 2% O₂.

Observou-se, para o material armazenado sob atmosfera de 5% O₂ / 5% CO₂, um aumento na atividade da polifenoloxidase entre o processamento e o segundo dia de armazenamento. Após o sexto dia de armazenamento, houve uma diminuição da atividade dessa enzima, coincidindo com o consumo de oxigênio no mesmo período de armazenamento.

Para o produto armazenado sob atmosfera de 10% CO₂ / 2% O₂, verificou-se uma pequena atividade da polifenoloxidase, o que pode ser explicado pela baixa concentração de oxigênio presente nesse tratamento.

Entre o processamento e o segundo dia de armazenamento, observou-se um aumento na atividade da polifenoloxidase da alface, armazenada sob atmosfera modificada passiva. Após o segundo dia de armazenamento, houve uma queda na atividade dessa enzima. Esse aumento, após o processamento, era esperado, pois esse produto foi embalado com a concentração de oxigênio do ambiente, que é alta. Mas esperava-se também que a atividade de polifenoloxidase se mantivesse alta até que a concentração de oxigênio fosse reduzida. Talvez o oxigênio disponível não fosse suficiente para manter a atividade da enzima alta.

A atividade de enzimas oxidativas como peroxidases e polifenoloxidases tem sido bastante estudada em plantas como parte dos mecanismos de defesas induzidas, ou em condições de estresse (Sánchez et al., 2000; Siegel, 1993), contudo a participação dessas enzimas na resistência constitutiva, antes de ocorrer algum tipo de estresse, tem sido pouco estudada. Polifenoloxidases oxidam um amplo grupo de fenóis sem a necessidade de H₂O₂, contudo peroxidases catalisam reações de oxidação utilizando o H₂O₂ como aceptor de elétrons, e atuam em vários processos metabólicos como: biossíntese de etileno, descarboxilação do ácido indol acético, lignificação da parede celular e respostas de estresse em geral (Siegel, 1993). No caso das polifenoloxidases, a atividade pode ser acrescida ou inibida em algumas plantas por estresses como injúrias, "chilling", toxicidade de nitrogênio e ataque de patógenos (Sánchez et al., 2000; Vaughn & Duke, 1984).

4 CONCLUSÕES

Tanto para a atmosfera modificada ativa, duas concentrações de gases, quanto para a atmosfera modificada passiva, constatou-se que o aumento da concentração de CO₂ ocorreu entre o dia do processamento e o segundo dia após essa operação para a alface minimamente processada.

A concentração de etileno teve um aumento entre o dia do processamento e o segundo dia de armazenamento para os dois tratamentos de atmosfera modificada ativa estudados, o que não foi constatado para o controle.

O consumo de oxigênio da alface armazenada a 5% O₂ / 5% CO₂ foi mais rápido em relação aos outros tratamentos, durante os 14 dias de armazenamento.

O comportamento do teor de clorofila total foi muito parecido, não havendo diferença significativa, para todos os tratamentos ao longo dos 14 dias de armazenamento.

Observou-se o aumento das atividades de peroxidase e polifenoloxidase apenas no início do armazenamento, ou seja, logo após o processamento para os tratamentos estudados.

Concluiu-se que a atmosfera modificada ativa não teve efeito significativo para a alface minimamente processada como tiras de 5 mm, embalada com filme de polipropileno, sob temperatura de 5 °C.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Trends Food Science Technology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 179-187, June 1996.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 113 p.

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-22, Feb. 1995.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems, minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 2. ed. Davis: University of California. Division of horticultural and natural resources, 1992. p. 277-281.

CAMERON, A. C.; TALASILA, P. C.; JOLES, D. W. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 25-34, Feb. 1995.

FLOROS, J. D. **The shelflife of fruits and vegetables. In Shelf lives studies of foods and beverages: chemical, biological and nutritional aspects.** [s. l]: Elsevier Science, p. 195-247. 1993.

HOOVER, D. G. Minimally processed fruits and vegetables: reducing microbial load by nonthermal physical treatments. **Food Technology**, Chicago, v. 51, n. 6, p. 66-71, June 1997.

HOTCHKISS, J. H.; BANCO, M. J. Influence of new packaging technologies on the growth of microorganisms in produce. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 55, n. 10, p. 815-820, Oct. 1992.

GORNY, J. R. **A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables.** Davis: University of California, 2001. p. 95-145, 2001. (Postharvest Horticulture Series, n. 22a).

INSKEEP, W. P. ; BLOOM, P. R. Extinction coefficients of chlorophyll a e b in N,N Dymethylformamide and 80% acetone. **Plant Physiology**, Rockville, v. 77, n. 2, p. 483-485, Feb. 1985.

KADERA, A. A.; BEN-YEHOSHUAB, S. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 1-13, Aug. 2000.

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 76, n. 3, p. 412-418, July 1989.

KHURDIYA, D. S. Non-thermal methods for preservation of fruits and vegetables: a critical appraisal. **Journal of Food Science Technology**, Mysore, v. 32, n. 4, p. 441-452, Apr. 1995.

KING, A. D.; BOLIN, H. R. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 43, n. 2, p. 132-139, Feb. 1989.

MANZANO, M.; CITTERIO, B.; MAIFRENI, M.; PAGANESSI, M.; COMI, G. Microbial and sensory quality of vegetables for soup packaged in different atmospheres. **Journal Science Food Agriculture**, London, v. 67, n. 4, p. 521-529, Apr. 1995.

MARTINEZ, J. A.; ARTÉS, F. Effect of packaging treatments and vacuum-cooling on quality of winter harvested iceberg lettuce. **Food Research International**, Amsterdam, v. 32, n. 9, p. 621-627, 1999.

MATHOOKO, F. M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 247-264, Dec. 1996.

MOHD-SOM, F.; KERBEL, E.; MARTIN, S. E.; SCHMIDT, S. J. Microflora Changes in Modified- Atmosphere- Packaged Broccoli Florets Stores at Refrigerated Temperature. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 17, n. 5, p. 347-360, Oct. 1994.

O'BEIRNE, D.; BALLANTYNE, A. Some effects of modified atmosphere packaging and vaccum packaging in combination with antioxidants on quality and storage life of chilled potato strips. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 515-523, Oct. 1987.

PIERGIOVANNI, L.; FAVA, P.; CERIANI, S. A simplified procedure to determine the respiration rate of minimally processed vegetables in flexible permeable packaging. **Italian Journal of Food Science**, Pinerolo, v. 11, n. 2, p. 99-110, 1999.

PRIEPKE, P. E.; WEI, L. S.; NELSON, A. I. Refrigerated storage of prepackaged salad vegetables. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 41, n. 2, p. 379-382, Mar./Apr. 1976.

RONK, R. J.; CARSON, K. L.; THOMPSON, P. Processing, packaging, and regulation of minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 43, n. 2, p. 136-139, Feb. 1989.

SALTVEIT, M. E. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 3-13, Jan. 2003.

SÁNCHEZ, E.; SOTO, J. M.; GARCIA, P. C.; LÓPEZ-LEFEBRE, L. R.; RIVERO, R. M.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Phenolic compounds and oxidative metabolism in green bean plants under nitrogen toxicity. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 27, n. 10, p. 973-978, 2000.

SENESI, E.; GALVIS, A. ; FUMAGALLI, G. Quality indexes and internal atmosphere of packaged fresh-cut pears (Abate fetal and Kaiser varieties). **Italian Journal of Food Science**, Pinerolo, v. 11, n. 2, p. 11-120, 1999.

SIEGEL, B. Z. Plant peroxidases – an organismic perspective. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 12, n. 3, p. 303-312, Feb. 1993.

SHEWFELT, R. L. Post harvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 5, p. 70-80, May 1986.

VAUGHN, K. C.; DUKE, S. O. Function of polyphenol oxidase in higher plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 60, n. 1, p. 106-112, 1984.

WATADA, A. E.; ABE, K.; YAMAUCHI, N. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 44, n. 5, p. 116, 118, 120-122, May 1990.

YAMAUCHI, N.; WATADA, A. E. Regulated chlorophyll degradation in spinach leaves during storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 116, n. 1, p. 58-62, Jan. 1991.

CONCLUSÕES GERAIS

Sobre as condições experimentais estudadas, pode-se concluir que:

- a temperatura ideal para a alface minimamente processada, tanto como folha inteira, a 5 e a 10 mm, foi de 5 °C. Essa temperatura permitiu que o produto mantivesse a taxa respiratória e a evolução de etileno mais baixas durante os quatorze dias de armazenamento.

- as principais características de qualidade foram mantidas para a alface crespa minimamente processada, como folha inteira e a 5 mm, e armazenada a temperatura de 5 °C.

-a embalagem adequada para a alface crespa minimamente processada, como folha inteira e a 5 mm, armazenada a 5 °C foi a de polipropileno. E a alface minimamente processada como folha inteira manteve suas características de qualidade e inclusive organolépticas até o último dia de armazenamento.

- o uso da atmosfera modificada ativa, nas atmosferas de 5% CO₂ / 5% O₂ e de 10% CO₂ / 2% O₂, não foi efetivo para a alface crespa minimamente processada, tanto para folha inteira e 5 mm.