

O Plástico como um Vetor da Segurança Alimentar e Redução da Fome Mundial

Jeffrey K. Brecht, Ph.D.
Horticultural Sciences Dept.
University of Florida
jkbrecht@ufl.edu



A Embalagem alimentar tem 4 funções

- Proteção
- Aumento do prazo de validade
- Comodidade
- Comunicação



Níveis de embalagem



1º



2º



3º



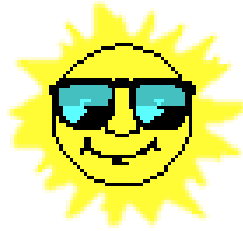


Proteção contra danos



Proteção contra o ambiente externo

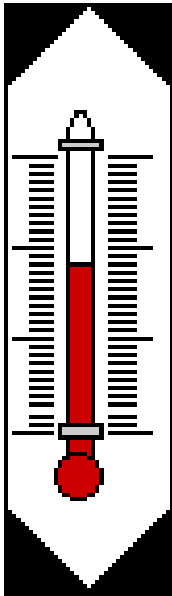




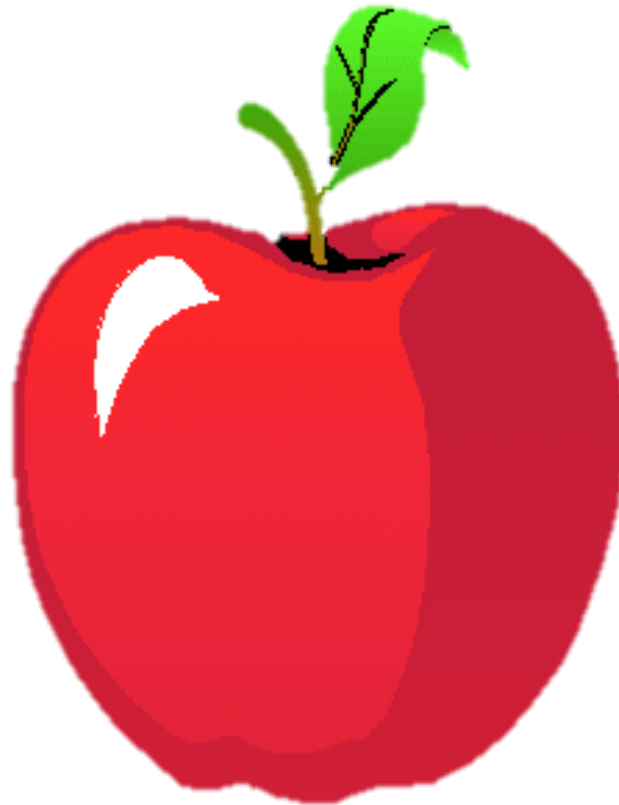
Luz



Umidade



Temperatura

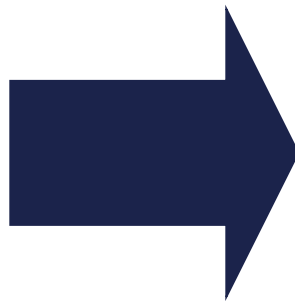
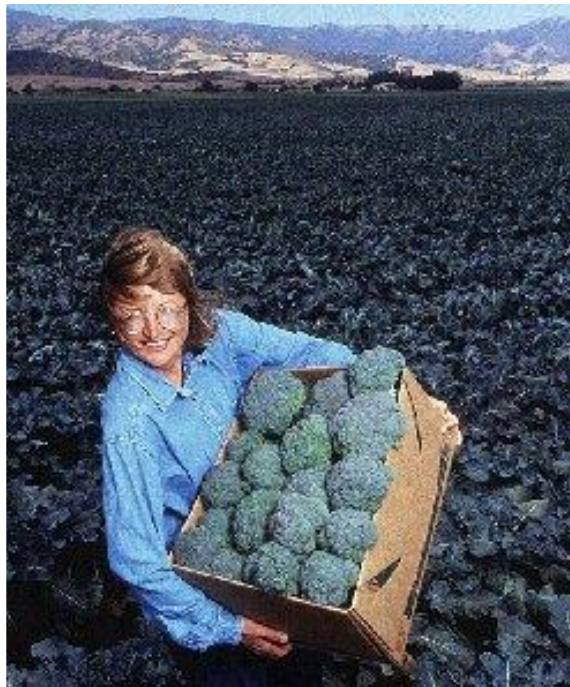


O₂
Oxigênio

Minimizar perda de água



Compatibilidade com a cadeia de distribuição



Compatibilidade com o sistema de tratamento



Produzir frio

A ventilação da embalagem deveria ser pensada para facilitar o contato entre o produto e o meio de refrigeração



**Refrigeração
com ar forçado**

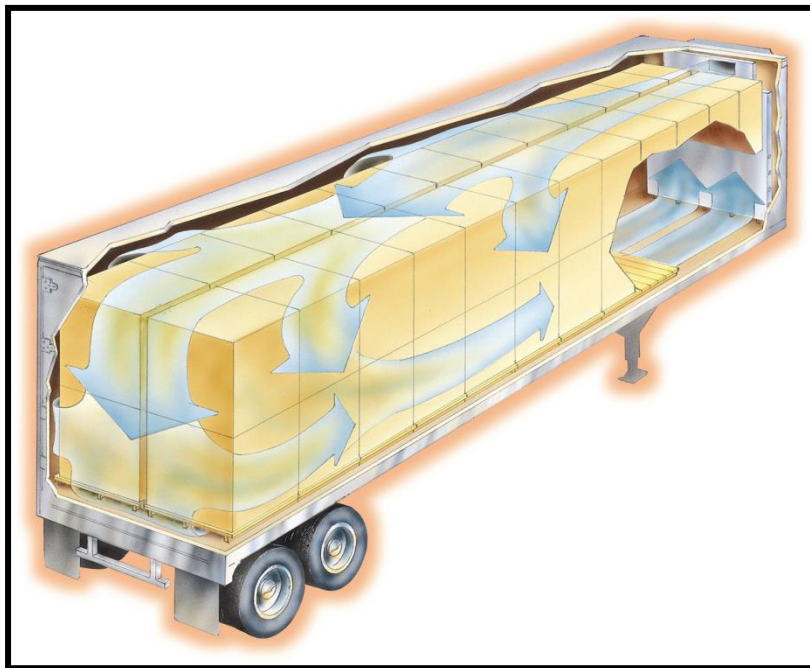


Refrigeração a água

Compatibilidade com o sistema de distribuição



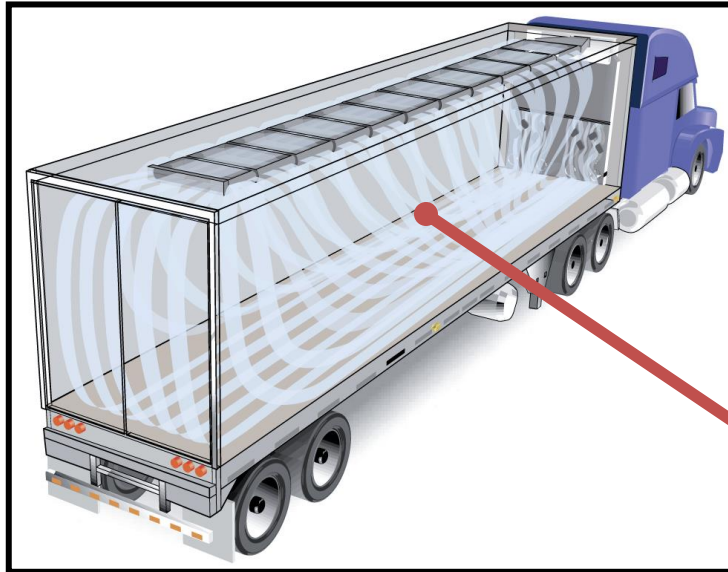
Gerenciamento da vazão de ar em Caminhões Frigoríficos



Ar forçado por cima da carga

- Desenhado para criar um envelope de ar frio em torno de cargas congeladas
- A ventilação da embalagem precisa ficar alinhada com o fluxo de ar horizontal

Gerenciamento da vazão de ar em Contêiner Marítimo



Ar forçado por baixo da carga

- A embalagem ventilada precisa acomodar um fluxo de ar vertical



Bulkhead

Cortesia de Thermo King

Caixas Plásticas Retornáveis (RPCs)



- **Uma tecnologia verde**
- ✓ 39 % menos de energia total
 - ✓ 95 % menos de perda sólida
 - ✓ 29 % menos de emissões de gases (do que em caixais de Papelão)

Fonte:

PackagingRevolution.net
white paper, 2012

Embalagem Consumidor



Embalagem Consumidor



Embalagem de produtos frescos para o consumidor



Embalagem Plástica para o Consumidor dentro de Caixas de Papelão Ondulado



Caracterização das Embalagens Plásticas

- Resistência à tensão
- Resistência à ruptura
- Resistência ao impacto
- Resistência a altas temperaturas
- Transmissão de vapor de água
- Permeabilidade de gás
- Temperatura Mín/Máx
- Resistência à compressão

Princípios da Embalagem com Atmosfera Modificada (MAP)

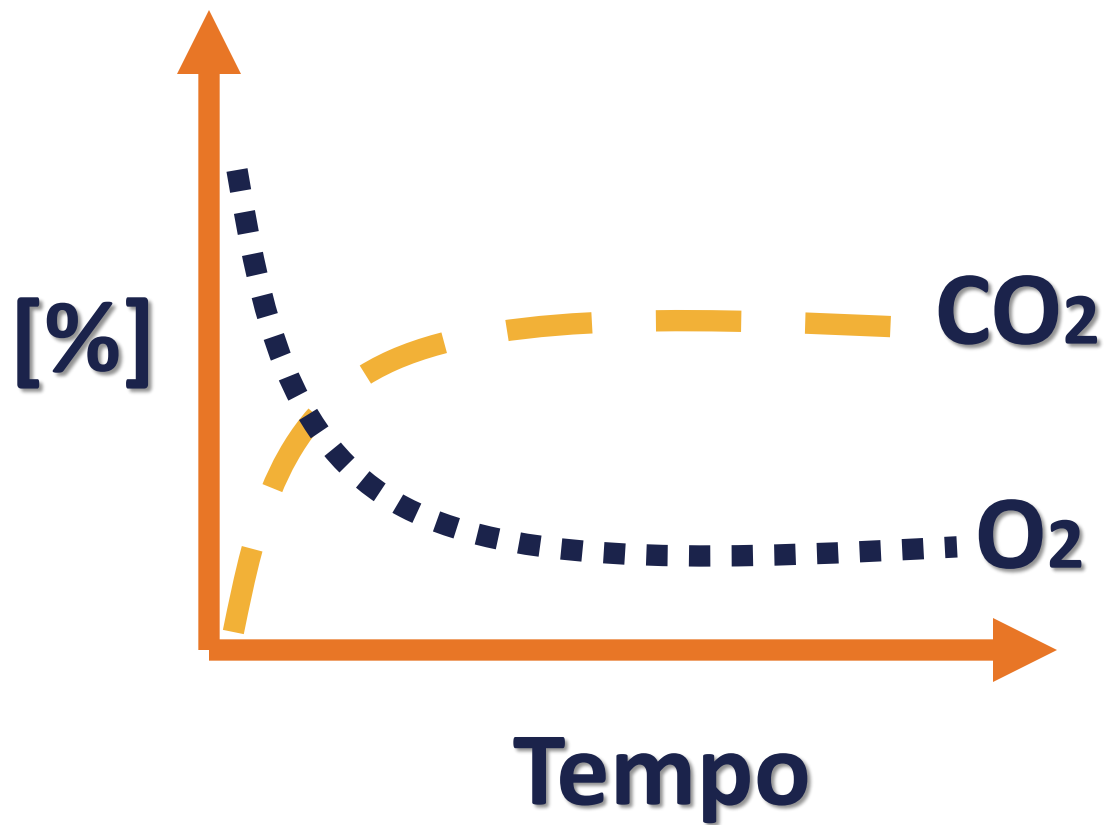
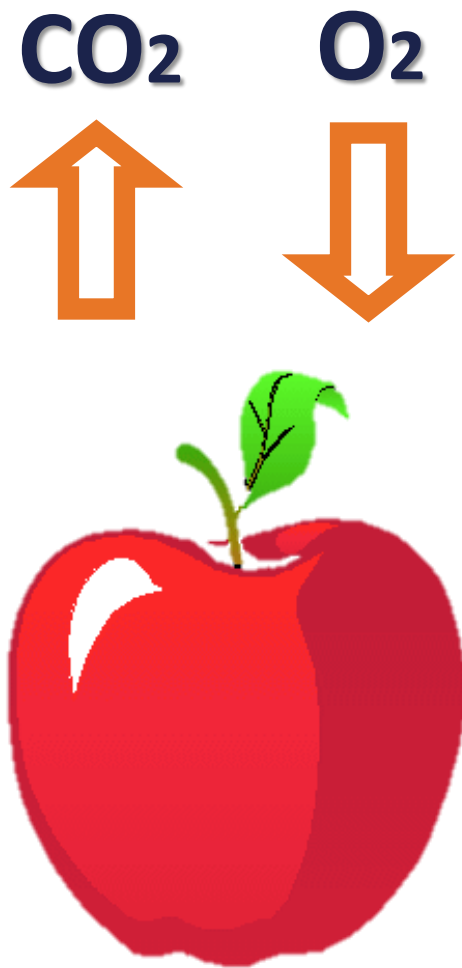
- Embalagem com atmosfera modificada *reduz a difusão de gases* via:
 - Filmes semipermeáveis
 - Filmes micro porosos
 - *Patches* micro porosos
 - Perfurações



MAP Para produtos

- Como funciona ?
- Fazer corresponder a frequência respiratória do produto com a permeabilidade da embalagem para conseguir a atmosfera desejada na temperatura desejada
 - 1-5% O_2 para reduzir o metabolismo (respiração)
 - 0-20% CO_2 para inibir os microorganismos de deterioração
 - Barreira de vapor





MAP para Carnes

- Como Funciona?
- O desafio principal é manter a cor vermelha e ao mesmo tempo retardar o desenvolvimento de bactérias aeróbicas deteriorantes
 - As barreiras de filme costumavam manter 60-80% o O_2 (o que favorece a oxihemoglobina) e 20-40% o CO_2 (o que inibe bactérias aeróbicas deteriorantes)
 - Carne vermelha como bifes precisam de mais O_2 do que porco ou aves



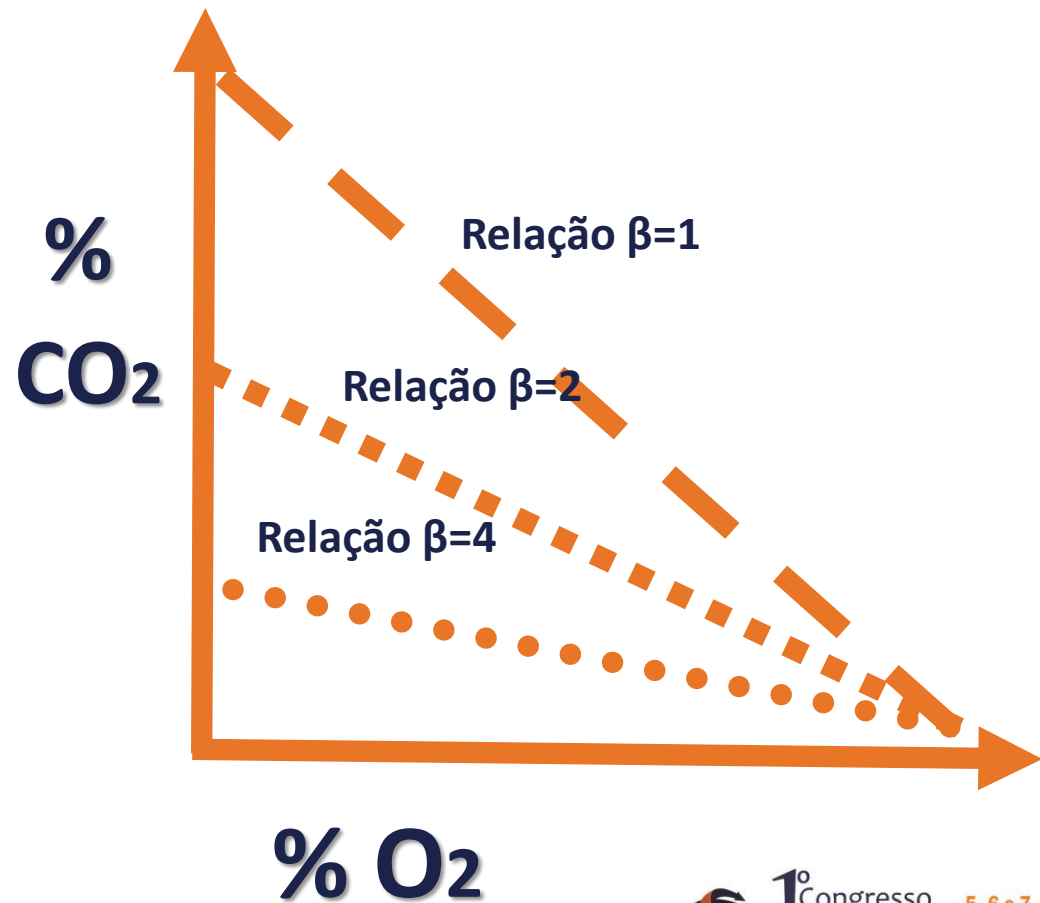
MAP para Peixes e Frutos do Mar

- Como funciona?
- Bactérias e enzimas que degradam a carne (proteína) podem ou não exigir O_2
- Peixes gordos rançam na presença de O_2
 - As barreiras de filme costumavam manter 20-50% o CO_2 (que inibe bactérias aeróbicas deteriorantes)
 - O restante da atmosfera contém O_2 e/ou N_2 no produto – quantidades específicas



Princípios da MAP para Produto

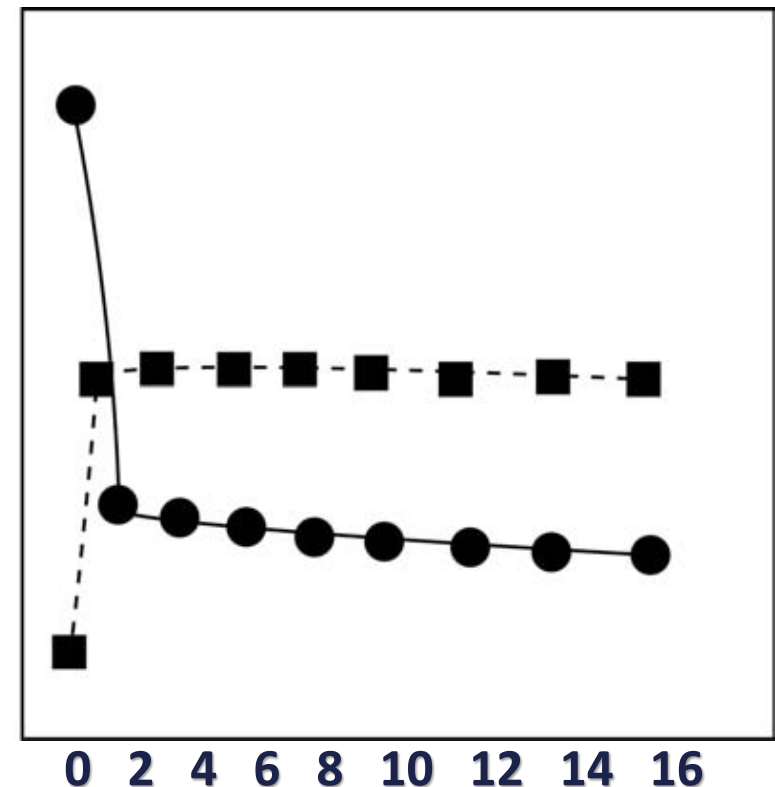
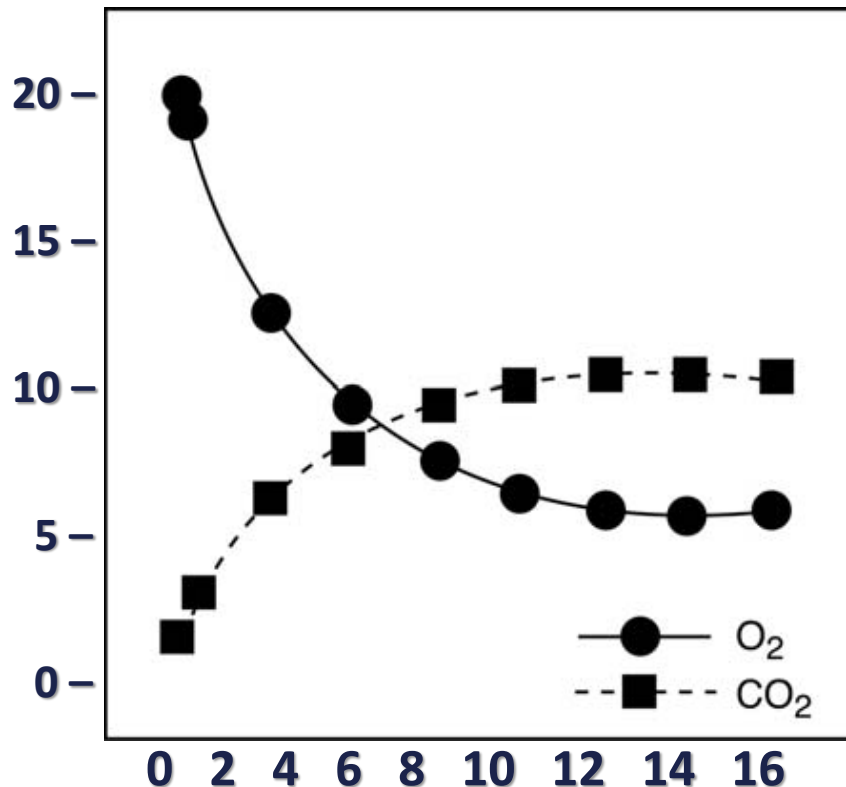
- **Quociente de respiração do produto (RQ):**
 - $\text{CO}_2/\text{O}_2 = 1$
- **Relação de permeabilidade do filme (β):**
 - $\text{CO}_2/\text{O}_2 = 4-6$ para filmes
 - $\text{CO}_2/\text{O}_2 = 0.8$ para perfurações



Princípios da MAP para Produto

- **MAP passivo versus MAP ativo** : instaurando um equilíbrio
 - MAP ativo = Injeção de gás antes da selagem para criar a atmosfera equilibrada esperada
 - A rápida instauração da atmosfera modificada é essencial para a prevenção do escurecimento da superfície de corte

Efeitos da modificação ativa e passiva na concentração de O_2 e CO_2 em uma Embalagem com Atmosfera Modificada (MAP) teórica



Days

Adaptado de: D. Zagory and A.A. Kader, 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technol. 42(9):70-77.

Filmes para Sistemas MAP

Tipos de plástico comumente usados em MAP para produtos frescos e suas propriedades:

Material	OTR (cc/100 in ² /day at 77°F & 0% RH)	β Valor (CO ₂ TR/OTR)	Temperatura média de selamento térmico(°F)	Condensação (%)
HDPE	100-200		275-310	3
LDPE	500	2-5.9	250-350	
LLPE	150-600		220-340	6-13
EVA	1600-900		150-350	2-10
PP	240	3.3-5.9	325-400	
OPP	100-160		200-300	3
BOPP	160		190-265	
PET	3-6		275-350	2
PVC	30-600	3.6-6.9	280-340	1-2
OPS	200-350		250-350	1

Adaptado de Jenkins and Harrington, 1991. Packaging Foods with Plastics. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Basel.

Filmes para Sistemas MAP

Tipos de plástico comumente usados em MAP para produtos frescos e suas propriedades:

Material	OTR (cc/100 in ² /dia a 25°C & 0% RH)	β Valor (CO ₂ TR/OTR)	Temperatura média de selamento térmico(°C)	Condensação (%)
HDPE	100-200		135-154	3
LDPE	500	2-5.9	121-176	
LLPE	150-600		104-171	6-13
EVA	1600-900		65-176	2-10
PP	240	3.3-5.9	62-204	
OPP	100-160		93-148	3
BOPP	160		88-265	
PET	3-6		129-176	2
PVC	30-600	3.6-6.9	137-171	1-2
OPS	200-350		121-176	1

Adaptado de Jenkins and Harrington, 1991. Packaging Foods with Plastics. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Basel.

Filmes para Sistemas MAP

Filmes monocamada: um polímero – um filme

Filmes misturados: diferentes polímeros misturados para produzir um filme monocamada

Filmes multicamadas

Filmes coextruzados: camadas múltiplas de filmes extruzados juntos para formar um filme

Filmes laminados: camadas múltiplas de filmes unidos com adesivo ou polímero fundido

Filmes para sistemas MAP

Filmes Metallocene: Nova Geração de filmes PE

- Variação reduzida no comprimento da cadeia de polímeros para um melhor controle da densidade do filme, características de vedação, e permeabilidade
- Também apresenta boa transparência e características de vedação

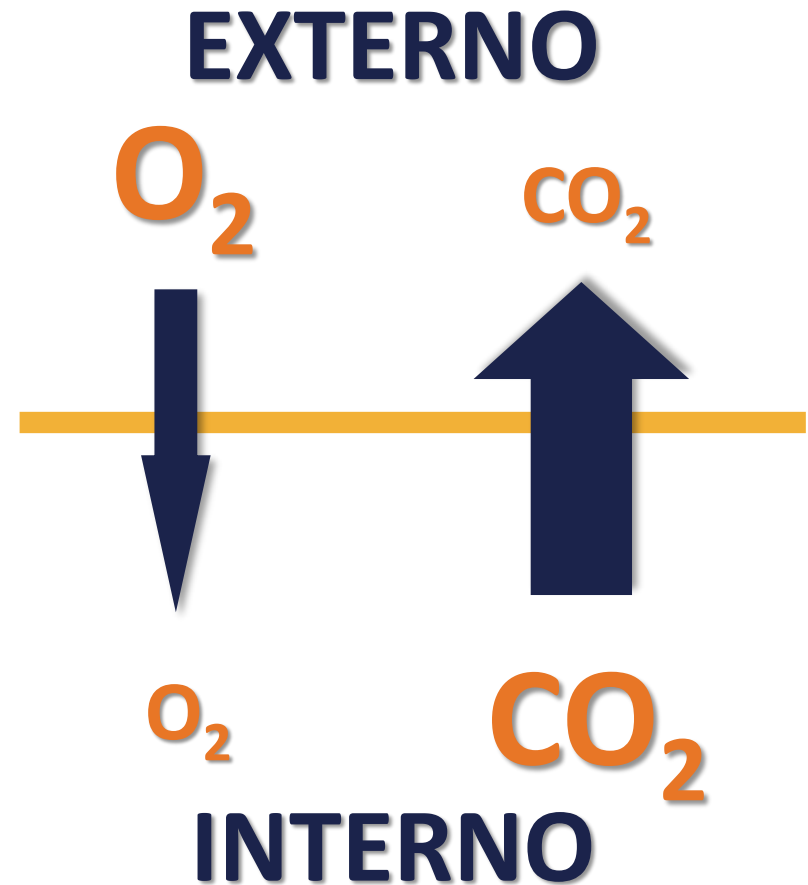
Sistemas MAP baseados em filmes

β ratio = 4-6

CO₂ passa pelo filme 4-6x mais rápido que o O₂

Então a redução de O₂ é aproximadamente 4-6x o aumento de CO₂ na MAP

➤ e.g., 4% O₂ + 3% CO₂



Sistemas MAP baseados em filmes



Sistemas MAP microperfurados

Filmes microperfurados contêm pequenos furos de aproximadamente 40-200 μm de diâmetro

- Microperfurações são feitas nos filmes mecanicamente, por jatos de ar ou laser (mais comum)
- Filmes microperfurados permitem o desenvolvimento de um ambiente com CO_2 elevado, mas mantendo os níveis de O_2 moderados



Sistemas MAP microperfurados

B ratio = Aprox. 1;

O₂ e CO₂ se movem com aproximadamente a mesma taxa através da perfuração

Então a redução de O₂ é aprox. igual ao aumento de CO₂ dentro do MAP

➤ e.g., 4% O₂ + 15% CO₂

EXTERNO

O₂ CO₂



o₂ CO₂

INTERNO

Sistemas MAP com microporos

- Filmes microporosos podem ser o componente majoritário de uma embalagem ou uma membrana microporosa pode ser colocada sobre uma perfuração grande em um filme impermeável ao oxigênio
- A membrana possui poros muito pequenos de 0.2-3 μm de diâmetro, que são feitos pela incorporação de carbonato de cálcio ou sílica na membrana durante sua manufaturação.

Sistemas MAP com microporos



Temperatura e MAP

- As taxas de respiração do produto mudam muito mais com a temperatura que com a permeabilidade do filme
- Armazenamento/transporte, apresentação no varejo
- Assim, uma MAP não pode manter atmosferas benéficas quando os produtos são expostos a diferentes temperaturas.

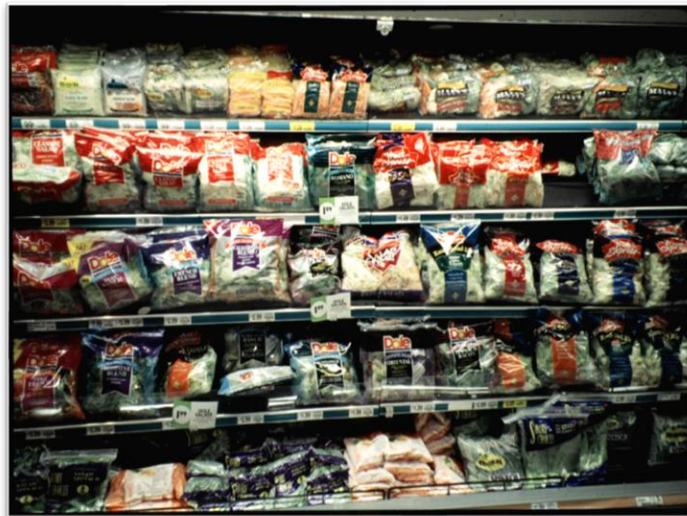
Temperatura e MAP

- Taxa de respiração **versus** temperatura:
Frutas e vegetais: $Q_{10} = 2$ a 4
- Permeabilidade do filme **versus** temperatura:
 $Q_{10} = 1.2$ to 1.3 para filmes
 $Q_{10} = 1$ para perfurações

Temperatura e MAP

Soluções típicas incluem:

1. Projetar a MAP para uma temperatura atribuída (e.g., cortes frescos a 7°C)



Temperatura e MAP

Soluções típicas incluem:

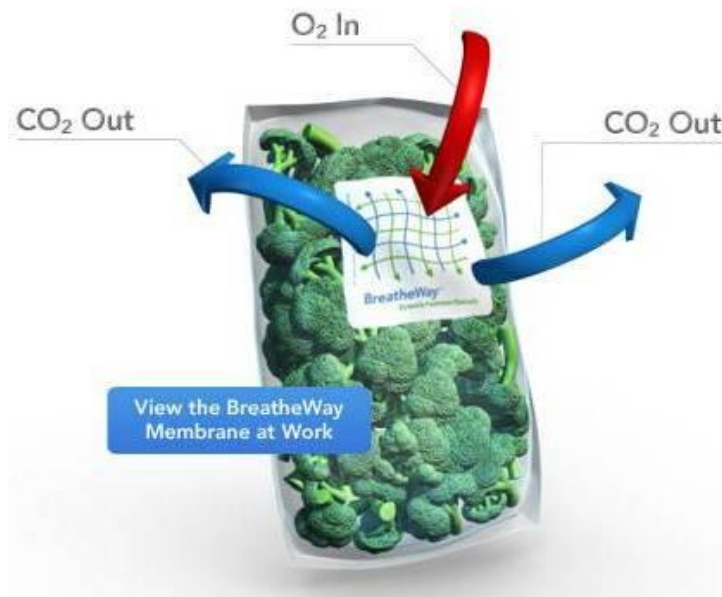
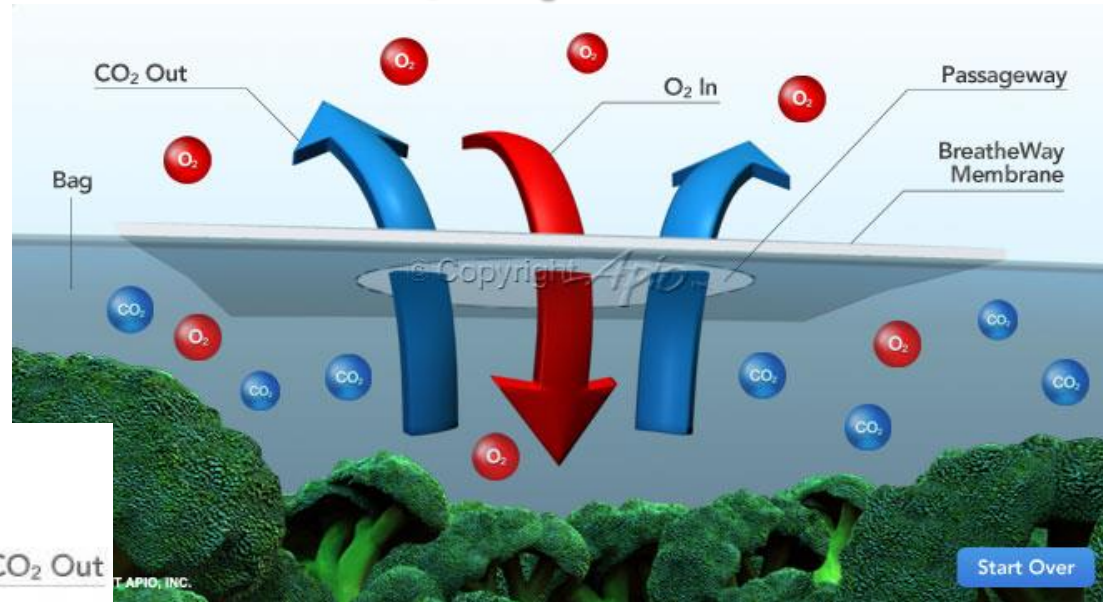
2. Projetar a MAP para condições de armazenamento/transporte e remover o produto da MAP antes da apresentação no varejo (linhas de caixas e coberturas de “pallet”)



Fusão em cadeia lateral de polímeros ramificados para melhorar a permeação

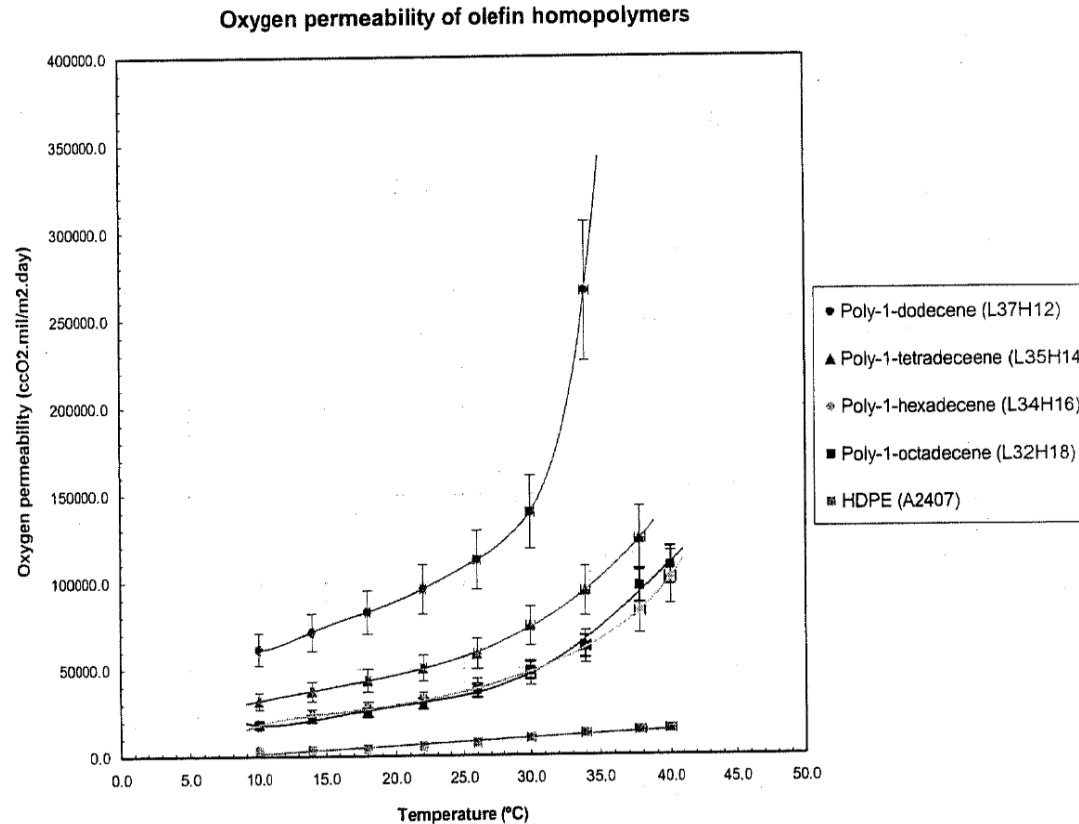
- Polímeros ramificados com cadeias laterais cristalinas
- A permeabilidade relativa varia com a proporção da fração cristalina desde que a difusão ocorra durante as fases amorfas em materiais semicristalinos
- Com a fusão, a fração cristalina é transformada numa fase amorfa
- Portanto, as taxas de transmissão de gás aumentam significativamente quando a temperatura passa do ponto de fusão das cadeias laterais

Sistema MAP de Temperatura de Resposta Landec/Apio



A macroperfuração é coberta por um patch microporoso revestido com uma mistura de polímeros acrílicos que mudam de fase (liquefação) em uma determinada temperatura.

A permeabilidade do oxigênio com cadeias laterais de homopolímeros de oleofinas comparada com Polietileno de alta densidade com uma variação de temperatura de 0 a 40°C (Lunardi, 2000. Ph.D. Diss. UF)



Embora guarde uma forma semi-rígida acima da temperatura de fusão da cadeia lateral, esses filmes devem ser coextruzados entre filmes com melhor integridade estrutural para uso comercial.

Embalagens para microondas



O Cozimento é atingido primeiramente pelo vapor gerado quando a água na embalagem ferve em vez do aquecimento direto do produto no microondas.

Outras Considerações

- Considerações de impressão e cor de filme
- Compatibilidade de maquinário (ex. fricção ou considerações de vedação)
- Transparência & brilho de filme
- Textura de filme (flexível, enrugado)
- Propriedades anti-condensação
- Embalagens rígidas; embalagens multiuso
- Reciclabilidade, biodegradabilidade

MAP ativo e inteligente

- Adsorção de etileno
- Absorventes de O_2 & CO_2
- Dessecantes
- Antimicrobianos
- Liberação de aroma
- Monitoração à distância do ambiente da embalagem (StePac Xsense™)



Obrigado pela atenção



Jeffrey K. Brecht, Ph.D.
Horticultural Sciences Dept.
University of Florida
[*jkbrecht@ufl.edu*](mailto:jkbrecht@ufl.edu)