



BIANCA ALMADA FERREIRA GOMES

QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE AZEDINHA (*Rumex acetosa* L.) SUBMETIDA AO HIDRORRESFRIAMENTO E AO ARMAZENAMENTO SOB ATMOSFERA MODIFICADA.

**LAVRAS – MG
2022**

BIANCA ALMADA FERREIRA GOMES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE AZEDINHA (*Rumex acetosa* L.)
SUBMETIDA AO HIDRORRESFRIAMENTO E AO ARMAZENAMENTO SOB
ATMOSFERA MODIFICADA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de mestre.

Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas
Orientador

Prof.^a Dr.^a Elisângela Elena Nunes Carvalho
Coorientadora

**LAVRAS –MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Repositório
Insitucional da Biblioteca Universitária da UFLA**

Gomes, Bianca Almada Ferreira.

Qualidade pós-colheita de azedinha (*Rumex acetosa* L.) submetida ao hidrorresfriamento e ao armazenamento sob atmosfera modificada / Bianca Almada Ferreira Gomes. - 2022.

88 p. : il.

Orientador(a): Eduardo Valerio de Barros Vilas Boas.

Coorientador(a): Elisângela Elena Nunes Carvalho

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Hortaliças não-convencionais. 2. Prerresfriamento. 3. Rede neural artificial. I. Vilas Boas, Eduardo Valerio de Barros. II. Carvalho, Elisângela Elena Nunes. III. Título.

BIANCA ALMADA FERREIRA GOMES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE AZEDINHA (*Rumex acetosa* L.)
SUBMETIDA AO HIDRORRESFRIAMENTO E AO ARMAZENAMENTO SOB
ATMOSFERA MODIFICADA.**

**POST-HARVEST QUALITY OF AZEDINHA (*Rumex acetosa* L.) SUBJECTED
TO HYDROCOOLING AND STORAGE UNDER MODIFIED ATMOSPHERE.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de mestre.

APROVADA EM 11 DE FEVEREIRO DE 2022

Dr.^a Joelma Pereira UFLA

Dr.^a Luciane Vilela Resende UFLA

Dr. Luiz José Rodrigues UFMT

Prof. Dr. Eduardo Valerio de Barros Vilas Boas
Orientador

Prof.^a Dr.^a Elisângela Elena Nunes Carvalho
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2022**

*À minha avó materna, Efigênia e minha avó paterna, Vicência, por serem minha
inspiração e exemplo de força e garra.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a oportunidade de viver, de aprender e de ensinar buscando superar diariamente meus medos e limitações em busca do que me move e me motiva.

À minha mãe Wanda, por toda a paciência, zelo e cuidado. Sou grata por minhas raízes e pela força de nossas descendentes que pulsa em minha veia, graças a você. Me inspiro todos os dias na sua força, na sua determinação e no seu caráter e espero ser cada dia mais como você. Te amo!

Ao meu pai Carlos Eduardo por ser o mais sábio e companheiro pai que eu poderia ter. Sua sabedoria me tira da escuridão nos momentos em que não parece haver mais luz no fim do túnel. Sua honestidade e caráter me mostram que ainda existem pessoas boas no mundo e eu sou muito grata por ser sua filha. Te amo!

Ao meu namorado Kelmer Maike que sabe ser calmaria no meio do furacão. Que segura a minha mão todas as vezes em que eu penso não ser capaz de continuar e que se alegra por qualquer conquista minha, independente do que seja. Sua presença me inspira em meu processo de autoconhecimento, buscando ser melhor a cada dia. Te amo!

À minha grande amiga Fernanda Nascimento. Com você aprendi a aproveitar os melhores momentos da vida e descobri o significado de uma amizade sincera e verdadeira. Vibro todos os dias pelas suas conquistas e pela pessoa que você é e sei que você faz o mesmo por mim. Te amo!

À Pâmela Santos, minha companheira de casa e amiga. Obrigada por esse tempo de convivência e pelo companheirismo!

Aos meus familiares e amigos, e a todas as pessoas que gostam e torcem por mim.

A todos os membros da equipe do Laboratório de Pós Colheita de Frutas e Hortaliças: Ana Beatriz, Hanna, Elídio, Rafael, Caio, Ingrid e Gilson, os quais tive mais contato durante esse tempo. Agradeço por todo auxílio e paciência durante essa jornada. Vocês foram fundamentais para que essa dissertação se concretizasse. Agradeço ainda todas as risadas e histórias, vocês estarão pra sempre no meu coração.

Ao professor Eduardo, meu orientador, por todos os ensinamentos ao longo desses dois anos. Sua sabedoria, experiência e paciência foram fundamentais durante todo esse processo. Agradeço ao senhor por alimentar em mim o desejo de ser uma pensadora, além de mera executora. Agradeço ainda a confiança depositada em meu trabalho, as oportunidades e toda a estrutura, fundamental para execução desta dissertação.

Aos produtores rurais, Marco Antônio, sua esposa e à produtora Fátima pelo trabalho que realizam e por terem me fornecido as hortaliças.

Por fim, à Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de cursar um Pós-graduação em uma universidade de excelência internacional e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e pelo incentivo à pesquisa.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.”

Paulo Freire

“Amar e mudar as coisas

Me interessa mais”

Belchior

RESUMO

As hortaliças não convencionais são veículos de vitaminas, minerais, fibras e, não raramente, carboidratos e proteínas, além de compostos bioativos com atividade antioxidante. Entretanto, devido ao padrão de consumo e aos hábitos alimentares mundiais, essas espécies vêm perdendo espaço e seu consumo vem ficando cada vez mais restrito às populações tradicionais. Além da redução no consumo, são escassos os trabalhos que avaliaram a influência de técnicas de conservação sobre a vida útil de hortaliças não convencionais como a azedinha (*Rumex acetosa* L.). Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do hidrorresfriamento e da atmosfera modificada sobre as características físicas e químicas da azedinha durante o armazenamento. As hortaliças foram obtidas de um produtor rural da região de Lavras, Minas Gerais e o estudo da vida útil conduzido no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras. No primeiro experimento, as hortaliças foram submetidas ao hidrorresfriamento a 0 °C, 10 °C e 20 °C durante 10 e 20 minutos a fim de definir os parâmetros ideais de aplicação da técnica. Após o hidrorresfriamento, as amostras foram acondicionadas em embalagens flexíveis de polietileno espessura de 100 µm com fechamento tipo *zip lock* e armazenadas em câmara fria à temperatura de 10±1 °C, com umidade relativa de aproximadamente 99 % durante 10 dias. No segundo experimento, o hidrorresfriamento foi aplicado utilizando água à 20 °C durante 10 minutos, conforme os melhores resultados obtidos no primeiro experimento. Após aplicação da técnica as hortaliças foram acondicionadas em diferentes embalagens a fim de avaliar o efeito da atmosfera modificada na conservação do vegetal durante o armazenamento. As seguintes embalagens foram utilizadas: flexível de polietileno espessura de 100 µm com fechamento tipo *zip lock* (ziplock); flexível de polietileno de baixa densidade de 50 µm seladas (selada) e rígida de polietileno tereftalato pós consumo reciclado (PET/PCR) com tampa de encaixe do mesmo polímero (controle). As amostras foram armazenadas em câmara fria à temperatura de 5±1 °C, com umidade relativa de aproximadamente 99 % durante 10 dias. Em ambos os experimentos foram realizadas análises de perda de massa, atividade respiratória, monitoramento de CO₂ dentro da embalagem, coloração, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, clorofila total, carotenoides totais, vitamina C, fenólicos totais e atividade antioxidante. A avaliação das amostras foi realizada aos 0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento. Todos os resultados foram submetidos à análise de variância e comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. Também foram obtidos gráficos de regressão polinomial e mapas auto-organizáveis de Kohonen (ANN/KSOM) para análise dos resultados. Observou-se efeito do hidrorresfriamento na redução da perda de massa e na manutenção dos teores de clorofila, vitamina C e fenólicos, com destaque para os tratamentos hidrorresfriados à 20 °C. O efeito da atmosfera modificada aliada ao hidrorresfriamento também foi benéfico. As embalagens *zip lock* e selada determinaram menores perdas de massa e maior conservação da hortaliça ao longo dos dez dias de armazenamento em comparação ao tratamento controle.

Palavras chave: Hortaliças não convencionais. Prerresfriamento. Rede neural artificial. Vida útil.

ABSTRACT

Non-conventional vegetables are vehicles of vitamins, minerals, fiber and, not rarely, carbohydrates and proteins, besides bioactive compounds with antioxidant activity. However, due to the consumption pattern and world eating habits, these species have been losing space and their consumption has been increasingly restricted to traditional populations. Besides the reduction in consumption, there are few studies evaluating the influence of conservation techniques on the shelf life of non-conventional vegetables such as sorrel (*Rumex acetosa* L.). Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of hydrocooling and modified atmosphere on the physical and chemical characteristics of sorrel during storage. The vegetables were obtained from a rural producer in the region of Lavras, Minas Gerais and the shelf life study was conducted in the Food Science Department of the Federal University of Lavras. In the first experiment, the vegetables were submitted to hydrocooling at 0 °C, 10 °C and 20 °C for 10 and 20 minutes in order to define the ideal parameters for the application of the technique. After hydrocooling, the samples were packed in flexible 100 µm thick polyethylene packages with zip lock type closure and stored in a cold chamber at a temperature of 10±1 °C, with a relative humidity of approximately 99 % for 10 days. In the second experiment, hydrocooling was applied using water at 20 °C for 10 minutes, according to the best results obtained in the first experiment. After the application of the technique the vegetables were packed in different packages in order to evaluate the effect of the modified atmosphere on its conservation during storage. The following packages were used: flexible polyethylene of 100 µm thickness with zip lock type closure (ziplock); flexible low density polyethylene of 50 µm sealed (sealed) and rigid post-consumer recycled polyethylene terephthalate (PET/PCR) with snap-on lid of the same polymer (control). The samples were stored in a cold room at a temperature of 5±1 °C with a relative humidity of approximately 99 % for 10 days. In both experiments analyses of mass loss, respiratory activity, CO₂ monitoring inside the package, coloration, soluble solids, pH, titratable acidity, total chlorophyll, total carotenoids, vitamin C, total phenolics and antioxidant activity were performed. The samples were evaluated at 0, 2, 4, 6, 8 and 10 days of storage. All the results were submitted to variance analysis and compared by the Scott Knott test at 5% significance level. Polynomial regression plots and self-organizing Kohonen maps (ANN/KSOM) were also obtained to analyze the results. The effect of hydrocooling was observed in the reduction of mass loss and in the maintenance of chlorophyll, vitamin C and phenolic contents, with emphasis on the treatments hydrocooled at 20 °C. The effect of modified atmosphere combined with hydrocooling was also beneficial. The zip lock and sealed packages determined lower losses of mass and better conservation of the vegetable throughout the ten days of storage compared to the control treatment.

Keywords: Artificial neural network. Pre-cooling. Shelf life. Unconventional vegetables.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Plantas alimentícias não convencionais (PANC) e alimentação saudável	12
2.2 Azedinha (<i>Rumex acetosa</i> L.)	15
2.3 Pós-colheita de hortaliças	17
2.3.1 Perda de massa	18
2.3.2 Alterações na coloração	18
2.3.3 Aroma e sabor	19
2.3.4 Alterações nutricionais	21
2.3.4.1 Vitaminas	21
2.3.4.2 Compostos fenólicos	22
2.3.4.3 Carotenoides	23
2.4 Técnicas de conservação	23
2.4.1 Hidrorresfriamento	25
2.4.2 Atmosfera modificada	26
2.4.2.1 Embalagem	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	35
ARTIGO 1	35
EFEITO DO HIDRORRESFRIAMENTO NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA AZEDINHA (<i>Rumex acetosa</i> L.)	35
ARTIGO 2	64
INFLUÊNCIA DA ATMOSFERA MODIFICADA PASSIVA NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE AZEDINHA (<i>Rumex acetosa</i> L.)	64

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As frutas e hortaliças são importantes fontes de nutrientes, como minerais e vitaminas, além de fibras e compostos bioativos, essenciais na alimentação humana. O consumo diário desses alimentos pode atuar na redução do risco de doenças como câncer, diabetes, cardiovasculares, obesidade, catarata, Alzheimer, entre outras. Dentre esses alimentos, destacam-se as hortaliças não convencionais (HNC). Entretanto, o consumo de HNC na atualidade pode ser considerado muito baixo, resultado do estilo de vida moderno e das mudanças de comportamento alimentar dos indivíduos, o que reflete o esquecimento e desvalorização do consumo desses alimentos, dentre outras plantas alimentícias não convencionais (PANC) ao longo do tempo, provocando perdas econômicas, sociais e culturais (VIANA *et al.*, 2015).

As perdas ao longo da cadeia de produção e distribuição de alimentos é um dos principais fatores que comprometem a segurança alimentar mundial. Segundo dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2021), as perdas de alimento ao redor do mundo são estimadas em torno de 931 milhões de toneladas, anualmente. Entre 40 % e 50 % das perdas são de frutas e hortaliças e 54 % acontecem nas etapas de produção, pós-colheita, manuseio e armazenamento, enquanto 46 % ocorrem durante a distribuição e consumo, gerando perda total de aproximadamente US\$ 750 bilhões por ano. No Brasil, as perdas de frutas e hortaliças podem ser estimadas em 30 % e ocorrem, principalmente, durante o manuseio e armazenamento, em virtude da logística ineficiente adotada na pós-colheita (KUMMU *et al.*, 2012; MUNESUE; MASUI; FUSHIMA, 2015; SANTOS *et al.*, 2020).

Dentre as HNC, cabe destacar a espécie *Rumex acetosa* L., da família Polygonaceae, com ocorrência em diversas regiões do globo terrestre. Conhecida no Brasil como azedinha, suas folhas são muito apreciadas pelo sabor, propriedades nutricionais e apelo funcional. Suas propriedades terapêuticas têm sido ressaltadas, seja a partir de relatos populares ou de indícios e confirmações científicas. Pode ser consumida cozida, em forma de saladas, em refogados, drinks e sucos (BARREIRA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2013; VASAS *et al.*, 2015).

Após a colheita, as hortaliças tendem a manter seu metabolismo ativo, culminando em modificações ou alterações indesejáveis dos produtos frescos durante o armazenamento, caso técnicas pós-colheita adequadas não sejam aplicadas. Logo, a aplicação e o desenvolvimento de técnicas de conservação conspiram a favor da redução das perdas (BOEING *et al.*, 2012;

PANGHAL *et al.*, 2018). Nesse sentido, técnicas pós-colheita, como o prerresfriamento e a atmosfera modificada, podem ser utilizadas visando-se a ampliação da vida útil e manutenção dos atributos de qualidade de hortaliças (DOMINGUEZ *et al.*, 2016). O prerresfriamento de frutas e hortaliças tem como objetivo o abaixamento de sua temperatura até a temperatura ideal de armazenamento, antes de seu acondicionamento definitivo na câmara de armazenamento. Pode ser realizado utilizando ar, água, ou a combinação de ambos, sendo o resfriamento utilizando água também denominado de hidrorresfriamento (OLIVEIRA *et al.*, 2015; RIVERA *et al.*, 2006). Já a aplicação da atmosfera modificada envolve a redução da disponibilidade de oxigênio (O₂) e aumento na concentração de dióxido de carbono (CO₂) no interior das embalagens, o que reduz a atividade metabólica das hortaliças. Existem dois tipos de atmosfera modificada, nomeadamente a ativa e a passiva (ZAGORY; KADER, 1988). Apesar da viabilidade dessas técnicas, informações sobre a utilização e seu efeito nas características físicas e químicas das HNC são escassas e muitas vezes não existem.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do hidrorresfriamento e da atmosfera modificada passiva, utilizando diferentes embalagens, sobre as características físicas e químicas da azedinha (*Rumex acetosa* L.) durante o armazenamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plantas alimentícias não convencionais (PANC) e alimentação saudável

A alimentação é considerada uma das atividades humanas mais importantes, sendo fundamental para manutenção da vida. Além disso, assume um fator cultural importante para as populações, pois representa a ligação mais primitiva entre elas e a natureza, conectando povos, comunidades ou grupos à sua terra e à origem de sua história (VIANA *et al.*, 2015). Os hábitos alimentares brasileiros incorporam a cultura de populações indígenas, além de diversas outras tradições, como a culinária africana, portuguesa, espanhola, italiana, alemã, francesa, entre outras, resultado do processo colonizatório (VASCONCELOS, 2016).

Entretanto, mudanças nos hábitos alimentares mundiais, no padrão de vida e consumo das populações vêm sendo observados nos últimos anos, além de redução na atividade física, diminuição do tempo destinado ao lazer e baixo consumo de frutas e hortaliças (BARBARA; FERREIRA-PEGO, 2020). Como consequência, observa-se alta prevalência de deficiências nutricionais, como a anemia e a hipovitaminose A e o surgimento de doenças crônicas não transmissíveis, como a hipertensão arterial, o diabetes e os diferentes tipos de cânceres. Nesse sentido, diversos desafios estão relacionados à promoção e manutenção de uma alimentação saudável. De acordo com a PNAN (Política Nacional de Alimentação e Nutrição),

a alimentação saudável deve estar em acordo com as necessidades de cada fase do curso da vida e com as necessidades alimentares especiais; referenciada pela cultura alimentar e pelas dimensões de gênero, raça e etnia; acessível do ponto de vista físico e financeiro; harmônica em quantidade e qualidade; baseada em práticas produtivas adequadas e sustentáveis, com quantidades mínimas de contaminantes físicos, químicos e biológicos (BRASIL, 2014) p.22

O conceito de alimentação saudável envolve aspectos que vão além da composição do alimento, como defesa da biodiversidade de espécies e valorização da herança cultural e do valor histórico do alimento. Esses aspectos promovem a valorização da cozinha típica regional e permitem o resgate das tradições e do prazer da alimentação. Envolve ainda a demanda por uma agricultura mais sustentável que promova o equilíbrio do ambiente, com respeito ao conhecimento local. Sendo assim, a promoção de uma alimentação saudável em todos os seus aspectos auxilia na compreensão da origem das populações e melhoria de sua

qualidade de vida (BRASIL, 2015). Nesse contexto, observa-se uma relação intrínseca entre o cultivo e incentivo do consumo das PANC e o conceito de alimentação saudável.

Atualmente, 90 % da dieta mundial baseia-se em apenas 20 espécies vegetais, incluindo o milho, soja, arroz e trigo, que são produzidos em maior escala. Entretanto, existem no mundo em torno de 12.500 a 15.000 plantas com potencial alimentício, sendo que 15 % a 20 % dessas plantas são encontradas no Brasil, graças a alta biodiversidade do território. Por definição, as PANC são as espécies cujas partes consumidas como os tubérculos, caules, folhas, botões florais, flores, pólen e frutos, não são comuns ou convencionalmente conhecidas apesar de serem potencialmente comestíveis. Além disso, são espécies que serviram de sustento aos seres humanos desde seus primórdios, apresentando redução no consumo ao longo dos séculos por não haver produção e comércio em larga escala, influenciando o uso dos conhecimentos tradicionais sobre alimentação (DO NASCIMENTO *et al.*, 2013; KINUPP e LORENZI, 2014)

O conceito de PANC engloba ainda as Hortaliças Não-Convencionais. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2010), as Hortaliças Não-Convencionais podem ser definidas como,

aquelas presentes em determinadas localidades ou regiões exercendo influência na alimentação de uma população tradicional. Normalmente, não estão organizadas enquanto cadeia produtiva propriamente dita, não despertando o interesse por parte de empresas de sementes, fertilizantes ou agroquímicos. p.4

As hortaliças não convencionais (HNC) são veículos de vitaminas, minerais, fibras e, em alguns casos, carboidratos e proteínas, além de fitoquímicos, como os fenólicos, com potencial antioxidante, capazes de reduzir a concentração de radicais livres no organismo. Em alguns casos, os teores desses compostos podem ser significativamente maiores nas HNC em comparação às hortaliças convencionais (SILVA *et al.*, 2021). Esses alimentos podem apresentar efeito antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano e anticâncer de acordo com a sua composição (MOYO *et al.*, 2013; VIANA *et al.*, 2015) além de estarem relacionados à redução da desnutrição e da ocorrência de doenças crônicas não transmissíveis, aumentando a qualidade de vida dos indivíduos (ARIAS-RICO *et al.*, 2020).

As PANC, incluindo as HNC, estão relacionadas aos hábitos de consumo das populações tradicionais. No passado, essas plantas apresentavam alto consumo em determinadas regiões e em função de mudanças no comportamento alimentar passaram a apresentar reduzida expressão econômica e social, perdendo espaço e mercado para outras

hortaliças (VIANA *et al.*, 2015). Além disso, a globalização, o aumento no consumo de alimentos industrializados, a urbanização, expansão da indústria de alimentos, difusão da mídia e do discurso científico são algumas das causas das mudanças observadas no padrão alimentar dos brasileiros, culminando na perda de características culturais e reduzindo a identidade com o consumo de alimentos locais e regionais (CECCANTI *et al.*, 2018).

O consumo de variedades locais atua preservando a diversidade e riqueza das dietas das populações, além de contribuir para a perpetuação de bons hábitos alimentares e valorização do patrimônio sociocultural do povo brasileiro. Além disso, o resgate do consumo das HNC evita o processo de extinção verificado atualmente em muitas espécies. O padrão de consumo mundial e a lógica de produção da agricultura convencional provocaram a redução no cultivo de espécies menos difundidas e com menor disponibilidade de material para cultivo, como maquinário, técnicas apropriadas e sementes, por exemplo. Não obstante, o cultivo de alimentos, como as HNC, se tornou restrito, sendo normalmente realizado pelas populações tradicionais (incluindo os agricultores considerados familiares e regionais que convivem e sobrevivem do campo) que, em muitos casos, não têm acesso ao conhecimento técnico-científico (TRICHES; SCHNEIDER, 2010).

Os alimentos produzidos pela agricultura familiar são, normalmente, comercializados em feiras de produtores por meio da venda direta, estimulando o consumo local. Essa alternativa de comercialização representa uma redução das etapas de processamento e transporte, reduzindo assim as perdas e emissões de gases do efeito estufa e aumentando a segurança alimentar das regiões (JARZEBOWSKI; BOURLAKIS; BEZAT-JARZEBOWSKA, 2020). Ademais, a venda direta possibilita maior aproximação física entre os meios de produção e os consumidores, sendo considerado um instrumento de construção de valores, crenças e significados relacionados ao modo de produzir os alimentos. Sendo assim, possibilita uma transformação das práticas alimentares relacionadas ao eco social, alterando os espaços econômicos onde as relações são estabelecidas. Por meio das cadeias curtas ocorre ainda maior difusão de conhecimentos e troca de informações graças à proximidade entre os agentes (CANNUSCIO *et al.*, 2013).

Apesar das vantagens do cultivo e comercialização de HNC, observa-se grande desuso dessas espécies por parte de muitos agricultores familiares. Esse processo está relacionado ao desconhecimento de sua potencialidade e ao esquecimento de certas tradições. Além disso, a baixa demanda de mercado desmotiva a produção e comercialização dessas espécies (PEREZ-CASELLES; BRUGAROLAS; MARTINEZ-CARRASCO, 2020).

A rusticidade de algumas PANC permite o menor uso de insumos, além do cultivo com menor manejo cultural e sem o uso de agrotóxicos. Logo, apesar de serem conhecidas como “mato” ou “daninhas”, a facilidade de cultivo e comercialização tornam as PANC uma fonte de renda e diversificação agrícola para os pequenos agricultores e as populações de baixa renda (CECCANTI *et al.*, 2018; VIANA *et al.*, 2015). Adicionalmente, o aumento da oferta de HNC atende à demanda dos consumidores modernos por alimentos seguros e potencialmente funcionais, que apresentem impacto social e ambiental reduzido, fortalecendo esse setor do mercado.

Observa-se grande interesse e expansão de pesquisas ao redor do mundo, com o intuito de caracterizar as PANC e desenvolver tecnologias que permitam o aumento de sua comercialização e consumo. Uma das principais dificuldades para difusão da produção desses alimentos se relaciona à escassez de informações sobre os cuidados pós-colheita, os tratamentos, armazenamento e técnicas de refrigeração que podem ser usados com a finalidade de aumentar a vida útil dos produtos e consequentemente a renda das famílias produtoras. Aliado a isso, informações sobre as perdas pós-colheita de HNC também são limitadas, dificultando a definição de estratégias para sua redução (GOGO *et al.*, 2017).

2.2 Azedinha (*Rumex acetosa* L.)

A azedinha (*Rumex acetosa* L.) é uma planta herbácea perene (SEGNEANU *et al.*, 2017) da família Polygonaceae, que pode atingir de 25 a 55 cm de altura e formar touceira com dezenas de propágulos (SILVA *et al.*, 2013). É normalmente encontrada em regiões da América do Norte, Ásia e Europa e foi provavelmente introduzida no Brasil por colonos europeus (MADEIRA *et al.*, 2008; VASAS *et al.*, 2015). Por ser uma planta naturalizada ou subspontânea, se adaptou às condições locais sendo capaz de se reproduzir espontaneamente e sustentar populações por muitas gerações (SCHNEIDER, 2007). Além disso, possui pequena exigência nutricional e adapta-se a solos de média e baixa fertilidade (GAWEDA, 2008) (Fig. 1).

É considerada PANC e possui propriedades terapêuticas tais como antioxidante, antibacterianas, cicatrizantes, antineoplásicas, antiescorbútica, antidiarreica, anti-inflamatória e anticancerígena, auxiliando também na modulação do sistema imunológico (JÚNIOR *et al.*, 2019). Essa hortaliça pode ser consumida crua ou cozida, normalmente em refogados, ou ainda, utilizada em *drinks* e sucos (BARREIRA *et al.*, 2015; KEMPER, 1999; REDZIC, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2010). Entretanto, a presença de ácido oxálico, um fator

antinutricional, limita o consumo *in natura* por pessoas com problemas renais. Isso porque a presença de ácido oxálico leva a formação de cristais de oxalato de cálcio e sua precipitação no organismo diminui a disponibilidade para realização de inúmeros processos fisiológicos (LIMA *et al.*, 2019).

Apesar de sua importância, existe elevada carência de informações sobre a azedinha, evidenciando a necessidade de pesquisas envolvendo a produção, cultivo e pós-colheita dessa hortaliça. Estudos indicam que essa espécie possui elevada capacidade antioxidante e altos teores de nutrientes, com destaque para minerais, vitaminas e proteínas, além de fibras (SILVA *et al.*, 2013). Os principais macrominerais encontrados na parte aérea das plantas de azedinha são potássio ($623,31 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), magnésio ($105,03 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), fósforo ($46,00 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e cálcio ($84,4 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), enquanto os microminerais são ferro ($5,87 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), manganês ($0,93 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), zinco ($0,45 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e cobre ($0,14 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) (BOTREL *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2013).

Figura 1 - Folha de azedinha (*Rumex acetosa* L.)



Fonte: Da autora (2021)

Viana *et al.* (2015) encontraram teores de vitamina C de $268 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ de massa fresca e $83,85 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de massa fresca de carotenoides totais em folhas de azedinha. Já Silva *et al.* (2013), encontraram valores de pH de 3,22 e 4,37% de sólidos solúveis, o que justifica o sabor ácido das folhas que influenciou em seu nome popular. Em relação a composição proximal, as folhas de azedinha apresentaram 92,13 % de umidade, 2,07 % de proteína, 0,27 % de lipídeos, 1,95 % de carboidratos, 2,53 % de fibra alimentar, 1,05 % de cinzas e um valor calórico de 18,51 kcal (BOTREL *et al.*, 2020).

2.3 Pós-colheita de hortaliças

A qualidade de produtos hortícolas está relacionada às características internas e externas, além da composição química do produto. Usualmente, as características externas são os principais fatores considerados pelos consumidores, já que são prontamente avaliadas a olho nu. Essas características incluem a coloração, formato, tamanho e ausência de defeitos na superfície do alimento. Já os atributos de qualidade internos, incluem propriedades de textura (como firmeza e crocância), sabor, aroma e ausência de defeitos internos. Fatores como frescor, valor nutricional, segurança química, física e microbiológica, presença ou ausência de propriedades promotoras de saúde, sistema de produção, autenticidade, conveniência, preço e aspectos éticos podem influenciar a percepção de qualidade dos consumidores (NICOLAI *et al.*, 2014).

O ponto ideal de colheita das hortaliças depende sobremaneira do órgão vegetal alvo. Raízes, caules, folhas, flores e frutos consumidos verdes, como a abobrinha, são colhidos na fase de crescimento. Já frutos consumidos maduros, como o tomate, são colhidos na fase de maturação. Entretanto, após a colheita, as hortaliças mantêm seu estado vivo, sendo que quanto maior a atividade metabólica, menor sua vida útil. Fatores pré-colheita, como condições climáticas, tipo de solo e práticas agrícolas influenciam diretamente a composição química das hortaliças. Já fatores pós-colheita, como técnicas de resfriamento, transporte, distribuição, processamento, embalagem e armazenamento por longos períodos podem influenciar a qualidade das hortaliças (MORE *et al.*, 2020; YAHIA, 2019).

Diversas alterações podem ser observadas ao longo da cadeia de produção e distribuição dos alimentos. Durante o transporte, pode ocorrer perda de turgidez e de firmeza, murchamento das hortaliças folhosas, aparecimento de injúrias mecânicas, além de rachaduras e rompimento de tecidos. Já o processamento mínimo, pode provocar danos celulares em virtude das etapas de corte e descascamento, além de escurecimento das superfícies cortadas, descoloração, amaciamento e produção de *off-flavor*, devido a reações enzimáticas provocadas pelo extravasamento do conteúdo celular e exposição ao ar atmosférico (MORE *et al.*, 2020; VAROQUAUX; WILEY, 2017).

Durante o armazenamento, podem ocorrer alterações na coloração das folhas, perda de massa e crescimento de microrganismos, que podem comprometer a segurança do produto. A produção de etileno pode ainda induzir desordens fisiológicas e, o dióxido de carbono (CO₂) em excesso, pode provocar o aparecimento de injúrias. O abaixamento excessivo do O₂ pode levar à respiração anaeróbica e provocar o surgimento de *off-flavors*. Já temperaturas de

armazenamento inadequadas podem reduzir a qualidade e conservação do produto (MORE *et al.*, 2020; WILEY, 2017)

Em hortaliças folhosas, o murchamento é uma das principais causas de perda de qualidade que levam a rejeição do produto pelo consumidor (PIAGENTINI; GUEMES; PIROVANI, 2002). Além disso, a alta atividade metabólica e alta relação superfície/volume tornam as hortaliças folhosas produtos perecíveis e altamente suscetíveis à perda de qualidade (INESTROZA-LIZARDO; SILVEIRA; ESCALONA, 2016).

2.3.1 Perda de massa

A perda de massa fresca das hortaliças durante o armazenamento está relacionada a evaporação da água retida nos tecidos o que ocorre, principalmente, por meio da transpiração e respiração. Na respiração vegetal, que se mantém mesmo após a colheita, ocorre a oxidação dos carboidratos e formação de energia, CO₂ e água, que pode evaporar. Além disso, a diferença de pressão de vapor d'água entre o interior do vegetal e o meio externo pode provocar a transpiração e desidratação superficial. Esses processos podem promover o murchamento, a degradação de pigmentos e o envelhecimento precoce, levando a perdas sensoriais e nutricionais, bem como no potencial funcional das hortaliças, com impactos negativos à sua qualidade (TERUEL; KIECKBUSCH; CORTEZ, 2004).

O controle da umidade relativa no ambiente de armazenamento das hortaliças folhosas pode reduzir a perda de água, entretanto, não há como evitar completamente esse processo. O resfriamento do vegetal, por reduzir seu metabolismo, conspira a favor da redução de sua perda de água. O uso de embalagens e revestimentos pode minimizar o murchamento, devido a condensação da água presente na superfície do vegetal dentro da embalagem em função da diferença de temperatura (SOARES; SARANTOPOULOS; KLUGE, 2018).

2.3.2 Alterações na coloração

A aparência visual das hortaliças folhosas inclui aspectos como coloração, tamanho das folhas, ausência de danos, defeitos ou contaminações microbianas. A adequação desses aspectos é fundamental no momento da escolha do consumidor, além de ser importante para os atacadistas e varejistas (FERRANTE *et al.*, 2004).

A coloração característica das hortaliças folhosas é dada pela presença da clorofila e dos carotenoides. Além desses, pode ser observada a presença de antocianinas e polifenóis, que apresentam atividade antioxidante, trazendo benefícios à saúde dos consumidores (FERRANTE *et al.*, 2004). Processos como o escurecimento enzimático e a senescência podem alterar a coloração dessas hortaliças.

O escurecimento enzimático ocorre como consequência da oxidação dos compostos fenólicos provocado pela ação de enzimas, como as polifenoloxidasas e peroxidases, produzindo *o*-quinonas que se polimerizam de forma irreversível formando a melanina, pigmento de coloração amarronzada. Outro aspecto a ser considerado é que a senescência pode induzir a degradação de pigmentos causando o amarelecimento das folhas. Estes processos podem ser influenciados pela presença do etileno, que acelera a degradação da clorofila (devido ao aumento na biossíntese de clorofilase), promovendo o aparecimento e síntese de carotenoides. Como consequência, ocorre a perda da coloração das hortaliças e redução da qualidade (ABLE *et al.*, 2003).

As condições de armazenamento podem influenciar diretamente as modificações fisiológicas observadas nas hortaliças folhosas. Usualmente, baixas temperaturas tendem a diminuir o metabolismo das folhas preservando a qualidade do produto por um maior tempo. Entretanto, a presença de luz durante o armazenamento pode influenciar a degradação da clorofila (SOLIVA-FORTUNY; MARTIN-BELLOSO, 2003).

A clorofila é degradada pela ação das enzimas clorofiloxidase, clorofilase e hidrolase. Essas enzimas estão localizadas em uma membrana no cloroplasto, separada espacialmente da clorofila. Entretanto, quando há rompimento da membrana, provocada por fatores como temperatura e exposição à luz, ocorre o contato entre a enzima e o substrato levando a degradação da clorofila e perda da coloração característica (MATILE; SCHELLENBERG; VICENTINI, 1997).

2.3.3 Aroma e sabor

O aroma é produzido durante o desenvolvimento das hortaliças por vias bioquímicas como a síntese de lipídeos, aminoácidos e terpenoides, que ocorrem a partir de reações como acetilação, metilação, oxidação e redução. Dessa forma, qualquer alteração nos atributos de qualidade das hortaliças está diretamente ligada a modificações no perfil bioquímico dos tecidos (ZHANG *et al.*, 2011).

Os principais compostos responsáveis pela formação do aroma nas hortaliças são ésteres, lactonas, álcoois, ácidos, aldeídos, cetonas, acetais, hidrocarbonetos e alguns fenóis, éteres e compostos oxigenados heterocíclicos. Os componentes voláteis apresentam baixo peso molecular e se encontram em misturas complexas, juntamente com os óleos essenciais. O aroma característico de cada produto é determinado pela combinação entre esses compostos, e usualmente, a predominância de alguns deles confere o aroma característico de cada produto, sendo esses compostos chamados de “voláteis de impacto” (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O aroma das hortaliças folhosas pode ser modificado durante a pós-colheita pelo efeito de fatores bióticos e abióticos. Variações na temperatura durante o transporte podem, por exemplo, impactar no teor de compostos voláteis das hortaliças, reduzindo sua qualidade (AREY *et al.*, 1991). A produção de compostos de odores indesejáveis está relacionada a desordens fisiológicas ou estresse ocorrido durante o manuseio e armazenamento do produto. O excesso de etileno, respiração aeróbica e anaeróbica pode formar voláteis como resultado de reações metabólicas. Os principais compostos incluem terpenos, ácidos carboxílicos (ácido acético), álcoois (etanol, metanol, isopropanol), aldeídos (acetaldeído), compostos sulfurados (sulfeto de hidrogênio), etc. (CHITARRA; CHITARRA, 2005; YAHIA, 2019). Logo, o desenvolvimento de aromas durante o armazenamento pode ser um potencial indicador do frescor dos produtos, além de ser indicativo da ocorrência de processos de deterioração associados à senescência (COZZOLINO *et al.*, 2016; LUCA; KJAER; EDELENBOS, 2017).

O sabor é a combinação entre aroma (compostos voláteis), gosto que pode ser doce, amargo, azedo, ácido ou umami e sensações táteis. O gosto característico das frutas e hortaliças está relacionado à presença de açúcares, que lhes conferem seu dulçor, ácidos orgânicos, que conferem acidez e compostos fenólicos e terpenoides, que conferem amargor. Além disso, a presença de minerais, como cloreto de sódio e outros, pode influenciar no sabor dos produtos hortícolas (CHITARRA; CHITARRA, 2005; YAHIA, 2019).

Uma forma indireta de mensurar o teor de açúcares de um produto hortícola consiste na determinação do teor de sólidos solúveis. O método apresenta um bom indicativo da concentração de açúcares solúveis, principalmente em frutas, já que são os constituintes mais representativos. Entretanto, o método também pode quantificar substâncias como vitaminas, fenólicos, pectinas e ácidos orgânicos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Já a acidez em frutas e hortaliças está relacionada à presença de ácidos orgânicos dissolvidos nos vacúolos das células na forma livre ou combinada com sais, ésteres, glicosídeos, etc. Além dos ácidos orgânicos, os compostos fenólicos também podem

contribuir para acidez dos produtos. Os ácidos orgânicos são utilizados como substrato no processo respiratório das hortaliças tendendo a diminuir durante a vida útil dos produtos. O principal ácido encontrado em hortaliças folhosas é o cítrico, contudo, o ácido málico pode ser encontrado na alface e o ácido oxálico no espinafre e azedinha, por exemplo. De forma geral, a acidez varia entre 1,5 % a 2,0 % nas hortaliças, exceto em casos específicos como o espinafre, que pode apresentar acidez de até 3 % (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.3.4 Alterações nutricionais

As hortaliças são veículos de carboidratos, incluindo fibras e glicídeos, além de lipídeos e proteínas, normalmente em menores concentrações, bem como vitaminas e minerais. São ainda fontes de compostos bioativos que podem apresentar função antioxidante no organismo (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018; CHITARRA; CHITARRA, 2005). Durante a cadeia de distribuição dos produtos, a manipulação e o uso inadequado de técnicas de conservação podem degradar esses compostos e influenciar a qualidade sensorial e nutricional das hortaliças.

2.3.4.1 Vitaminas

As vitaminas são nutrientes, normalmente, sensíveis ao calor, à luz e ao oxigênio tornando as hortaliças folhosas susceptíveis à deterioração dependendo das condições de armazenamento (BALAN *et al.*, 2016). Esses compostos devem ser ingeridos por meio da dieta, contribuindo para o funcionamento normal do metabolismo humano e prevenindo a ocorrência de inúmeras doenças (YAHIA, 2019).

Muitas HNC são fontes de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B12), niacina (vitamina B3), alfa-tocoferol (vitamina E), ácido fólico (vitamina B9), piridoxina (vitamina B6) e ácido ascórbico (vitamina C) (SENA *et al.*, 1998). A vitamina C pode ser considerada o nutriente mais instável encontrado nas frutas e hortaliças, em função de sua alta sensibilidade à oxidação sob a influência do calor e da luz. Após a colheita e durante o armazenamento, esse composto se degrada rapidamente (BALAN *et al.*, 2016). Em espinafre foi observada perda de 81,23 % no teor de vitamina C após sete dias de armazenamento entre 4 °C e 6 °C. Essa redução pode estar relacionada à grande sensibilidade das hortaliças folhosas à

manipulação e ao processamento, levando à degradação dos compostos bioativos (BALAN *et al.*, 2016).

O teor de vitamina C encontrado por Viana *et al.* (2015) em folhas de azedinha foi de 268,33 mg.100 g⁻¹ de matéria fresca. Entretanto, estudos sobre o comportamento da vitamina C durante o armazenamento das PANC ainda são escassos.

2.3.4.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários das plantas associados à sua coloração, adstringência, aroma, sabor e estabilidade oxidativa. O interesse por alimentos contendo esses compostos vem crescendo ao longo dos anos, devido aos efeitos benéficos promovidos pelo seu consumo, graças às suas propriedades bioativas. A atividade antioxidante, desses compostos, está associada à redução da deterioração do DNA, diminuição da peroxidação dos lipídeos ou inibição da formação de compostos maléficos. Sendo assim, a ingestão de antioxidantes pode estar relacionada a uma menor incidência de certos tipos de cânceres e doenças degenerativas (BALAN *et al.*, 2016).

Os organismos biológicos aeróbicos tendem a produzir radicais livres a partir do oxigênio triplete birradical (O₂). Esses radicais reagem com diferentes macromoléculas biológicas, formando compostos que possuem um elétron livre e são instáveis e altamente reativos. As espécies de oxigênio reativo (ROS) reagem com compostos orgânicos como lipídeos, proteínas das membranas celulares e aminoácidos, retirando delas um elétron e resultando na peroxidação de lipídeos e agregação de proteínas. Esse processo provoca danos às membranas, vazamento de eletrólitos, distúrbios metabólicos, perda das funções celulares e morte de células e tecidos, podendo levar ao desenvolvimento de doenças. Para se proteger deste processo, o organismo animal, bem como o vegetal, possui mecanismos enzimáticos e não enzimáticos que atuam como antioxidantes, retardando ou evitando a oxidação de substratos e inibindo a toxicidade dos radicais livres. Os principais antioxidantes obtidos a partir da alimentação são a vitamina C, o betacaroteno, o licopeno e o alfatocoferol (CHITARRA; CHITARRA, 2005; YAHIA, 2019).

Após a colheita, esses compostos podem ser utilizados pelos tecidos vegetais ou degradados de acordo com as condições de armazenamento como temperatura, umidade e luminosidade. Além disso, condições inadequadas de manuseio e armazenamento podem acelerar esse processo reduzindo a vida útil e a qualidade sensorial e nutricional dos alimentos (HAARD, 1984).

As principais classes de antioxidantes naturais são os polifenóis e os carotenoides (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018). Os compostos fenólicos são substâncias que possuem anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais. Alguns exemplos de fenóis são os flavonoides, ácidos fenólicos, fenóis simples, cumarinas, taninos, ligninas e tocoferóis. Esses compostos são oriundos do metabolismo secundário das plantas e apresentam funções relacionadas ao crescimento e reprodução, além de atuarem como agente antipatogênico e contribuírem para a pigmentação. Além disso, situações de estresse como, infecções, ferimentos, radiações UV, dentre outros podem desencadear a produção desses compostos. O metabolismo das plantas produz esses compostos a partir de substâncias como a fenilalanina e a tirosina (SHAHIDI, 2015).

2.3.4.3 Carotenoides

Os carotenoides são os precursores básicos para formação do retinol (vitamina A). Diversos carotenoides podem ser precursores dessa vitamina sendo o betacaroteno o principal deles. Hortaliças folhosas com coloração amarelo-alaranjada são as principais fontes de pró-vitaminas A da dieta (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Face à capacidade antioxidante dos carotenoides, o seu consumo, de seus precursores e derivados, constituem-se benéficos à saúde.

Durante o armazenamento de folhas de espinafre foi observado aumento ($8,35 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ para $9,47 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) do teor de carotenoides do vegetal. Esse aumento não necessariamente está relacionado a síntese de carotenoides durante o armazenamento, mas a desidratação causada por processos respiratórios e transpiratórios. Quando as folhas foram armazenadas em sacos plásticos seladas foi observada diminuição no teor de carotenoides (BALAN *et al.*, 2016). Não obstante, a perda de coloração de hortaliças durante o armazenamento pode estar associada à ação antioxidante do betacaroteno contra a peroxidação lipídica (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.4 Técnicas de conservação

As perdas pós-colheita referem-se às perdas de alimentos durante a colheita, armazenamento, transporte, processamento e preparação antes do consumo e podem ocorrer como resultado de contratempos técnicos e gerenciais. Além do impacto econômico, as perdas

pós-colheita geram impactos negativos ao meio ambiente e ao clima, como consequência das emissões de gases desnecessárias durante a produção, processamento e transporte das frutas e hortaliças (JAMES; ZIKANKUBA, 2017; KUMMU *et al.*, 2012). Dessa forma, as técnicas de conservação são utilizadas com o intuito de reduzir as perdas do setor, aumentando a vida útil de frutas e hortaliças e garantindo a oferta de produtos de qualidade aos consumidores.

O desenvolvimento de técnicas agrícolas e a intensificação da agricultura visam melhorar a renda e a qualidade de vida das famílias produtoras. Entretanto, o aumento da produção de frutas e hortaliças sem o aumento correspondente nas habilidades de gerenciamento pós-colheita é um dos fatores que contribuem para os altos índices de perdas. Nesse sentido, o investimento necessário para um melhor gerenciamento da produção custa menos quando comparado aos prejuízos, aos custos de produção e aos impactos ao meio ambiente gerados pelas perdas pós-colheita (KUMMU *et al.*, 2012; MUNESUE; MASUI; FUSHIMA, 2015). Além de maiores investimentos, é fundamental capacitar os pequenos produtores para aplicação das tecnologias pós-colheita, visto que esses conhecimentos muitas vezes não são acessíveis aos produtores familiares. Capacitar os agricultores a processar e armazenar suas produções reduz as perdas e auxilia na redução da pobreza, fome e desnutrição entre jovens, idosos, mulheres, homens e crianças ao redor do mundo e representa uma alternativa para redução da desigualdade e aumento da renda das famílias produtoras (JAMES; ZIKANKUBA, 2017; MUNESUE; MASUI; FUSHIMA, 2015).

A principal técnica utilizada durante o armazenamento de frutas e hortaliças é a refrigeração. Temperaturas elevadas aceleram o desenvolvimento e a reprodução de microrganismos, aumentam a taxa respiratória do produto, além de aumentar a transpiração e as modificações fisiológicas associadas à senescência. Logo, o armazenamento refrigerado reduz a velocidade das modificações aumentando a vida útil dos vegetais. Cada fruta e hortaliça apresenta uma temperatura ideal de armazenamento e a eficiência da técnica depende do menor índice de flutuação da temperatura na câmara fria. Fatores como o empilhamento adequado e a circulação apropriada de ar na câmara fria diminuem as flutuações de temperatura, aumentando a eficiência da refrigeração (CHITARRA; CHITARRA, 2005; MORE *et al.*, 2020). O armazenamento refrigerado deve ser respeitado durante toda a pós-colheita das frutas e hortaliças. Entretanto, técnicas como o prerresfriamento, que pode ser realizado utilizando-se o ar, a água e o gelo como meios de transferência de calor, sob atmosfera regular ou a vácuo, e a atmosfera modificada podem ser utilizadas de forma complementar, aumentando o potencial de conservação das frutas e hortaliças.

2.4.1 Hidrorresfriamento

Para maior vida útil de produtos perecíveis, o gerenciamento da temperatura deve ser realizado desde a colheita. Sendo assim, as hortaliças devem ser colhidas, quando possível, nas primeiras horas da manhã, considerando a menor temperatura ambiente. Após a colheita, o produto deve ser mantido em local sombreado protegido do ganho de calor solar. Além disso, o tempo entre a colheita e o prerresfriamento deve ser otimizado, já que esses alimentos tendem a manter o metabolismo ativo (GROSS; WANG; SALTVEIT, 2016).

Com o intuito de retirar o calor do campo e reduzir a temperatura de frutas e hortaliças até a de armazenamento, o prerresfriamento é largamente utilizado como técnica pós-colheita, antes das etapas de armazenamento, processamento e comercialização. Em uma câmara fria tradicional, a redução da temperatura ocorreria de forma lenta comprometendo a qualidade e segurança dos alimentos. Dessa forma, o prerresfriamento permite uma redução mais rápida da temperatura das frutas e hortaliças e atua reduzindo a atividade microbiana, taxas respiratórias, produção de etileno e a senescência (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Quando a água é utilizada no prerresfriamento, seja por imersão ou pulverização, ele é denominado hidrorresfriamento (RIVERA *et al.*, 2006).

O ar é o meio de transferência de calor mais utilizado no mundo no prerresfriamento e armazenamento refrigerado de frutas e hortaliças. Não obstante, a água é um melhor meio de transferência de calor em comparação ao ar, sendo assim, os métodos de refrigeração que utilizam a água tendem a ser mais eficientes, promovendo o resfriamento em menos tempo. Pode ser realizada por pulverização da água sob o produto ou imersão do produto em água refrigerada, sendo o resfriamento por imersão mais lento. A água utilizada durante essa etapa deve ser limpa e desinfetada com solução de ácido hipocloroso, hipoclorito de sódio ou cloro gasoso, a fim de evitar contaminações que possam comprometer a qualidade do produto (GROSS; WANG; SALTVEIT, 2016).

As principais vantagens do hidrorresfriamento são a alta eficiência, devido à condutividade térmica da água e do seu contato direto com o produto, o baixo custo, graças à possibilidade de reuso da água, após tratamento adequado, além da redução da desidratação superficial do produto por efeito da absorção de água durante a aplicação da técnica (BRILEY, 2002; TERUEL; KIECKBUSCH; CORTEZ, 2004).

Apesar da escassez de estudos científicos sobre a influência do hidrorresfriamento na conservação de hortaliças não convencionais, estudos relatam o efeito positivo da técnica em

hortaliças convencionais. O estudo realizado por Franca *et al.* (2015) avaliou o efeito do armazenamento a 5 °C e a 22 °C de alfaces “Vitoria de Santo Antônio” tipo lisa após serem submetidas ao hidrorresfriamento. Os resultados indicaram efeito da técnica aliada ao armazenamento a 5°C na manutenção do balanço hídrico das folhas, deixando-as hidratadas durante todo o armazenamento. O uso da técnica promoveu aumento de 20 % no período de comercialização da hortaliça em comparação às alfaces que não foram submetidas ao hidrorresfriamento. Além disso, Moreira *et al.* (2019) avaliaram o efeito do hidrorresfriamento em rúcula durante 10 dias de armazenamento a 0 °C e 10 °C. A aplicação da técnica aliada a temperatura de armazenamento de 0°C apresentou efeito positivo sob o aumento da útil das folhas dessa hortaliça.

2.4.2 Atmosfera modificada

A modificação atmosférica envolve a alteração da composição dos gases no interior da embalagem reduzindo a taxa respiratória e o metabolismo de frutas e hortaliças, culminando no aumento da sua vida útil. Existem dois tipos de atmosfera modificada (AM), sendo elas a AM ativa e a AM passiva. Em ambos sistemas, o equilíbrio de gases no interior da embalagem é alcançado após determinado período, de acordo com o efeito sinérgico da permeabilidade do filme e da respiração do vegetal, dependentes da temperatura de armazenamento. A diferença é que na AM ativa a concentração de gases no interior da embalagem tende a ser rapidamente estabilizada pela injeção inicial de uma quantidade predeterminada dos gases, de acordo com as características do produto embalado. Essa injeção de gases não ocorre na AM passiva. Logo, a principal vantagem da AM ativa consiste na rápida estabilização da atmosfera apresentando impacto imediato sobre o armazenamento do produto, entretanto, consiste em uma técnica de maior custo, devido ao valor dos equipamentos e gases utilizados (GHIDELLI; PEREZ-GAGO, 2018; MUDAU *et al.*, 2018).

A AM envolve a redução da disponibilidade de O₂ e aumento na concentração de CO₂ no interior das embalagens reduzindo a atividade metabólica, com ênfase para a taxa respiratória das hortaliças. Diversos mecanismos estão envolvidos nesse processo, como redução da atividade de enzimas dependentes do O₂, a exemplo a ACC oxidase (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico), fundamental para a síntese do etileno; redução da ação do etileno por efeito da competição do CO₂ pelo sítio de ligação do etileno; redução do amaciamento dos tecidos; diminuição das reações de síntese de compostos associados ao amadurecimento e senescência; redução das reações de degradação que culminam na

senescência dos produtos; controle da perda de água e degradação de compostos bioativos e redução da atividade microbiana (ZAGORY; KADER, 1988).

A resistência à difusão dos gases, respiração dos produtos frescos, produção e sensibilidade do produto ao etileno, temperatura ótima de armazenamento, concentrações dos gases e a umidade relativa do ar podem afetar a eficiência da técnica (ZAGORY; KADER, 1988). Além disso, o efeito benéfico da AM em frutas e hortaliças frescas depende de incontáveis fatores como espécie, cultivar, práticas de cultivo, estágio de desenvolvimento, além de fatores controláveis como as práticas pós-colheita, permeabilidade da embalagem utilizada, taxa respiratória e condições de armazenamento do produto (GHIDELLI; PEREZ-GAGO, 2018).

A exposição das frutas e hortaliças a níveis de CO₂ acima do limite de tolerância de cada produto pode provocar o surgimento de desordens fisiológicas. Já baixos níveis de O₂ podem induzir os tecidos à respiração anaeróbica com formação e acúmulo de etanol e acetaldeído. Esses processos estão relacionados ao surgimento de desordens fisiológicas e modificações das características sensoriais do produto, como o surgimento de odores e sabores indesejáveis. O uso inadequado da técnica pode ainda induzir o escurecimento enzimático indesejável e o aparecimento de manchas na superfície dos frutos. Níveis de dióxido de carbono entre 5 % e 10 % e níveis de oxigênio abaixo de 5 % podem apresentar efeito fungistático, entretanto, seu uso deve ser cuidadosamente avaliado (GHIDELLI; PEREZ-GAGO, 2018).

A temperatura de armazenamento ideal para cada fruta e hortaliça também deve ser respeitada, pois o aumento da temperatura pode provocar aumento das taxas respiratórias do produto. Esse processo pode aumentar as concentrações de CO₂ e reduzir as concentrações de O₂ modificando a eficiência da técnica. Além disso, a permeabilidade dos filmes também pode ser afetada por mudanças na temperatura. Sendo assim, o uso do hidrorresfriamento e da atmosfera modificada não substituem a cadeia de frio ao longo do armazenamento, fundamental para garantia da segurança dos alimentos (BOERZHJIN *et al.*, 2020).

Logo, as principais variáveis consideradas para o sucesso do armazenamento sob AM são a duração, temperatura, umidade relativa e concentrações de O₂, CO₂ e etileno. Para garantia da conservação e aumento da vida útil das hortaliças, o ambiente de armazenamento deve ser mantido dentro de um conjunto de limites estabelecidos de acordo com cada fruta e hortaliça. Para manutenção da composição dos gases em torno dos alimentos armazenados sob AM, é fundamental a escolha de embalagens que apresentem características de permeabilidade ao vapor de água, O₂ e CO₂ adequadas ao objetivo desejado. A escolha da

embalagem deve ainda levar em consideração a proteção fornecida aos alimentos, além de aspectos econômicos e garantia da qualidade e segurança dos alimentos (SHARMA *et al.*, 2021).

Embalagens plásticas flexíveis ou rígidas fechadas com tampa ou seladas com filmes plásticos são utilizadas para o acondicionamento e armazenamento de frutas e hortaliças *in natura*. Os polímeros utilizados nessas embalagens podem apresentar diferentes composições, sendo o policloreto de vinila (PVC), polipropileno (PP) e polietileno (PE) os mais utilizados na indústria de alimentos (BADILLO; SEGURA-PONCE, 2020).

A vida útil e a influência da AM passiva sobre as características físicas, químicas, sensoriais e a qualidade nutricional do espinafre armazenado sob diferentes temperaturas foi avaliada. Os resultados indicaram efeito benéfico da técnica nas folhas armazenados a 13 °C e 21 °C. Os resultados indicaram menor amarelamento e perda de água do produto. Não houve diferença na composição nutricional após o armazenamento, entretanto, os atributos sensoriais, principais fatores observados pelos consumidores, foram mantidos por mais tempo (BATZIAKAS *et al.*, 2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABLE, A. J *et al.* **The effects of 1-methylcyclopropene on the shelf life of minimally processed leafy asian vegetables.** *Postharvest Biology and Technology*, v. 27, n.2, p.157-161, 2003
- AREY, J *et al.* **The emission of (z)-3-hexen-1-ol, (z)-3-hexenylacetate and other oxygenated hydrocarbons from agricultural plant-species.** *Atmospheric Environment Part a-General Topics*, v. 25, n. 5-6, p. 1063-1075, 1991.
- ARIAS-RICO, J *et al.* **Study of Edible Plants: Effects of Boiling on Nutritional, Antioxidant, and Physicochemical Properties.** *Foods*, v. 9, n. 5, p. 14, maio. 2020.
- BADILLO, G. M.; SEGURA-PONCE, L. A. **Classic and Reaction-Diffusion Models Used in Modified Atmosphere Packaging (MAP) of Fruit and Vegetables.** *Food Engineering Reviews*, v.12, n. 2, p. 209-228, jun. 2020.
- BALAN, D *et al.* **Changes in the nutrients content of some green vegetables during storage and thermal processing.** *Romanian Biotechnological Letters*, v. 21, n. 5, p. 11857-11865, set/out. 2016.
- BARBARA, R.; FERREIRA-PEGO, C. **Changes in Eating Habits among Displaced and Non-Displaced University Students.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 15, p. 9, ago. 2020.
- BARREIRA, T. F *et al.* **Diversidade e equitabilidade de plantas alimentícias não convencionais na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.** *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 17, n. 4, p. 964-974, 2015.
- BATZIAKAS, K. G *et al.* **Reducing Postharvest Losses of Spinach Stored at Nonoptimum Temperatures with the Implementation of Passive Modified Atmosphere Packaging.** *Hortscience*, v. 55, n. 3, p. 326-335, mar. 2020.
- BOEING, H *et al.* **Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases.** *European Journal of Nutrition*, v. 51, n. 6, p. 637-663, set. 2012.
- BOERZHJIN, S *et al.* **Effect of perforation -mediated modified atmosphere packaging on the quality and bioactive compounds of soft kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* (DC) Alef. var. *sabellica* L.) during storage.** *Food Packaging and Shelf Life*, v. 23, p. 7, mar. 2020.
- BOTREL, N *et al.* **Nutritional value of unconventional leafy vegetables grown in the Cerrado Biome/Brazil.** *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 23, 2020. DOI: 10.1590/1981-6723.17418
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Hortaliças não-convencionais: (tradicionais)** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: MAPA/ ACS, 2010. 52 p.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Alimentos regionais brasileiros** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – 2. ed. – Brasília: Ministério da Saúde, 2015. 484 p. ISBN 978-85-334-2145-5
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – 2. ed., 1. reimpr. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 156 p. ISBN 978-85-334-2176-9
- BRILEY, G. C. **Hydrocooling fruits and vegetables**. *Ashrae Journal*, v. 44, n. 9, p. 60-60, set. 2002.
- CANNUSCIO, C. C *et al.* **Urban Food Environments and Residents' Shopping Behaviors**. *American Journal of Preventive Medicine*, v. 45, n. 5, p. 606-614, nov. 2013.
- CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. **Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives**. *Trends in Food Science & Technology*, v. 71, p. 107-120, jan. 2018.
- CECCANTI, C *et al.* **Mediterranean Wild Edible Plants: Weeds or "New Functional Crops"?** *Molecules*, v. 23, n. 9, p. 15, set. 2018.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
- COZZOLINO, R *et al.* **Characterisation of volatile profile and sensory analysis of fresh-cut "Radicchio di Chioggia" stored in air or modified atmosphere**. *Food Chemistry*, v. 192, p. 603-611, fev. 2016.
- DOMINGUEZ, I *et al.* **Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. *Food Chemistry*, v. 209, p. 211-219, out. 2016.
- FAO. 2021. **Food waste index**. Report 2021. <
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2022
- FERRANTE, A *et al.* **Colour changes of fresh-cut leafy vegetables during storage**. *Journal of Food Agriculture & Environment*, v. 2, n. 3-4, p. 40-44, ago/dez. 2004.
- FRANCA, C. F. M *et al.* **Hydrocooling on postharvest conservation of butter lettuce**. *Horticultura Brasileira*, v. 33, n. 3, p. 383-387, jul/set. 2015.
- GAWEDA, M. **Heavy metal content in common sorrel plants (*Rumex acetosa* L.) obtained from natural sites in Malopolska province**. *Polish Journal of Environmental Studies* v. 18, p. 213-218, 2008.
- GHIDELLI, C.; PEREZ-GAGO, M. B. **Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 58, n. 4, p. 662-679, 2018.

GOGO, E. O *et al.* **Nutritional and economic postharvest loss analysis of African indigenous leafy vegetables along the supply chain in Kenya.** *Postharvest Biology and Technology*, v. 130, p. 39-47, ago. 2017.

GROSS, K. C.; WANG, C. Y.; SALTVEIT, M. E. **The commercial storage of fruits, Vegetables, and florist and nursery stocks:** United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service., 2016.

HAARD, N. F. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables.** *Journal of Chemical Education*, v. 61, n. 4, p. 277-283, 1984.

INESTROZA-LIZARDO, C.; SILVEIRA, A. C.; ESCALONA, V. H. **Metabolic activity, microbial growth and sensory quality of arugula leaves (*Eruca vesicaria* Mill.) stored under non-conventional modified atmosphere packaging.** *Scientia Horticulturae*, v. 209, p. 79-85, set. 2016.

JAMES, A.; ZIKANKUBA, V. **Postharvest management of fruits and vegetable: A potential for reducing poverty, hidden hunger and malnutrition in sub-Sahara Africa.** *Cogent Food & Agriculture*, v. 3, n. 1, p. 13, 2017.

JARZEBOWSKI, S.; BOURLAKIS, M.; BEZAT-JARZEBOWSKA, A. **Short Food Supply Chains (SFSC) as Local and Sustainable Systems.** *Sustainability*, v. 12, n. 11, p. 13, jun. 2020.

JÚNIOR, P. R. S *et al.* **Unconventional food plants as functional food: literatura review.** *An Fac Med Olinda*, v. 2, n. 2, p. 52, 2019.

KEMPER, K. J. **Sorrel (*Rumex acetosa* L.).** The Longwood Herbal Task Force and The Center for Holistic Pediatric Education and Research, p. 1-7. 1999

KINUPP, V. F E.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas.** Instituto Plantarum de Estudos da Flora, p.767, 2014.

KUMMU, M *et al.* **Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use.** *Science of the Total Environment*, v. 438, p. 477-489, nov. 2012.

LIMA, M. A. S. S *et al.* **Vegetative Development and Nutrient Absorption March of Sorrel (*Rumex acetosa* L.).** *Journal of Agriculture Science*, v. 11, n.4, 2019.

LUCA, A.; KJAER, A.; EDELENBOS, M. **Volatile organic compounds as markers of quality changes during the storage of wild rocket.** *Food Chemistry*, v. 232, p. 579-586, out. 2017.

MADEIRA, N.R.; REIFSCHNEIDER, F.J.B.; GIORDANO, L.B. **Contribuição portuguesa à produção e ao consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão histórica.** *Horticultura Brasileira*, v. 26, n. 4, p. 428-432, 2008.

MATILE, P.; SCHELLENBERG, M.; VICENTINI, F. **Localization of chlorophyllase in the chloroplast envelope.** *Planta*, v. 201, n. 1, p. 96-99, jan. 1997.

- MOREIRA, E. G. S *et al.* **Hydrocooling efficiency on postharvest conservation and quality of arugula.** *Revista De Agricultura Neotropical*, v. 6, n. 4, p. 36-41, out/dez. 2019.
- MORE, A. S *et al.* **Biomarkers associated with quality and safety of fresh-cut produce.** *Food Bioscience*, v. 34, p.10, 2020.
- MOYO, M *et al.* **Phytochemical and antioxidant properties of unconventional leafy vegetables consumed in southern Africa.** *South African Journal of Botany*, v. 84, p.65-71, 2013.
- MUDAU, A. R *et al.* **Influence of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Baby Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Leaves.** *Hortscience*, v. 53, n. 2, p. 224-230, fev. 2018.
- MUNESUE, Y.; MASUI, T.; FUSHIMA, T. **The effects of reducing food losses and food waste on global food insecurity, natural resources, and greenhouse gas emissions.** *Environmental Economics and Policy Studies*, v. 17, n. 1, p. 43-77, jan. 2015.
- NASCIMENTO, V. T *et al.* **Knowledge and Use of Wild Food Plants in Areas of Dry Seasonal Forests in Brazil.** *Ecology of Food and Nutrition*, v. 52, n. 4, p. 317-343, jul. 2013.
- NICOLAI, B. M *et al.* **Nondestructive Measurement of Fruit and Vegetable Quality.** *In: DOYLE, M. P. e KLAENHAMMER, T. R. (Ed.). Annual Review of Food Science and Technology, Vol 5.* Palo Alto: Annual Reviews, 2014. v. 5, p. 285-312. (Annual Review of Food Science and Technology).
- OLIVEIRA, L. S *et al.* **Effect of hydrocooling in the postharvest shelf life of coriander leaves.** *Horticultura Brasileira*, v. 33, n. 4, p. 448-452, out/dez. 2015.
- PANGHAL, A *et al.* **Post-harvest malpractices in fresh fruits and vegetables: food safety and health issues in India.** *Nutrition & Food Science*, v. 48, n. 4, p. 561-578, 2018.
- PEREZ-CASELLES, C.; BRUGAROLAS, M.; MARTINEZ-CARRASCO, L. **Traditional Varieties for Local Markets: A Sustainable Proposal for Agricultural SMEs.** *Sustainability*, v. 12, n. 11, p. 19, jun. 2020.
- PIAGENTINI, A. M.; GUEMES, D. R.; PIROVANI, M. E. **Sensory characteristics of fresh-cut spinach preserved by combined factors methodology.** *Journal of Food Science*, v. 67, n. 4, p. 1544-1549, maio. 2002.
- REDZIC, S.J. **Wild edible plants and their traditional use in the human nutrition in Bosnia-Herzegovina.** *Ecology of Food and Nutrition* v. 45, p.189–232, 2006.
- RIVERA, J. R. E *et al.* **Effects of ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 degrees C.** *Journal of Food Science*, v. 71, n. 3, p. S270-S276, abr. 2006.
- SALTVEIT, M. E. **Is it possible to find an optimal controlled atmosphere?** *Postharvest Biology and Technology*, v. 27, n. 1, p. 3-13, jan. 2003.
- SANTOS, S. F *et al.* **Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in**

Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. Waste Management, v. 101, p. 161-170, jan. 2020.

SCHNEIDER, A.A. **A flora naturalizada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: herbáceas subespontâneas.** Biociências v. 15, p. 257-268, 2007.

SEGNEANU, A. E *et al.* **Some Less Unknown Application of Perennial Plants from Romania.** Food & Nutrition Journal, v. 2017, n. 3, p. 1-5, 2017.

SENA, L. P *et al.* **Analysis of nutritional components of eight famine foods of the Republic of Niger.** Plant Foods for Human Nutrition, v. 52, n. 1, p. 17-30, 1998.

SHAHIDI, F. **Handbook of antioxidants and food preservation.** Food Science, Technology and Nutrition, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 1 -14, 2015.

SHARMA, S *et al.* **Essential oils as additives in active food packaging.** Food Chemistry, v. 343, p. 10, maio. 2021.

SILVA, E.C *et al.* **Characterization of two types of azedinha in the region of Sete Lagoas, Brazil.** Horticultura Brasileira, v. 31, n. 2, p. 328-331, 2013.

SILVA, L. F. L. E *et al.* **Nutritional characterisation and grouping of unconventional vegetables in Brazil.** Journal of Horticultural Science & Biotechnology, v. 96, p. 508-513, 2021. DOI: 10.1080/14620316.2021.1877200

SILVEIRA, G. S. R *et al.* **Manual de hortaliças não-convencionais.** 1. ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010.

SOARES, C. D. F.; SARANTOPOULOS, C.; KLUGE, R. A. **Passive modified atmosphere affects the quality of minimally processed escarole.** Journal of Food Processing and Preservation, v. 42, n. 9, p. 9, set. 2018.

SOLIVA-FORTUNY, R. C.; MARTIN-BELLOSO, O. **New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review.** Trends in Food Science & Technology, v. 14, n. 9, p. 341-353, set. 2003.

TERUEL, B.; KIECKBUSCH, T.; CORTEZ, L. **Cooling parameters for fruits and vegetables of different sizes in a hydrocooling system.** Scientia Agricola, v. 61, n. 6, p. 655-658, nov/dez. 2004.

TRICHES, R. M.; SCHNEIDER, S. **School Feeding and Family Farming: reconnecting consumption to production.** Saúde e Sociedade, v. 19, n. 4, p. 933-945, out/dez. 2010.

VASAS, A.; ORBÁN-GYAPAI, O.; HOHMANN, J. **The Genus Rumex: Review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology.** Journal of Ethnopharmacology, v. 175, n. 4, p. 198-228, 2015.

VAROQUAUX, P.; WILEY, R. C. **Biological and Biochemical Changes in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables.** Food Engineering Series. 153-186 p. 2017.

VASCONCELOS, F.A.G. **Regional, national or global cooking: a narrative review of the Manifesto Regionalista of 1926 written by Gilberto Freyre.** Demetra: Food, Nutrition & Health, v.11, p.1-3, 2016.

VIANA, M. M. S *et al.* **Phytochemical composition and antioxidant potential of unconventional vegetables.** Horticultura Brasileira, v.33, n. 4, p. 504-509, out/dez. 2015.

WILEY, R. C. **Preservation Methods for Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables.** Food Engineering Series. 187-237 p. 2017.

YAHIA, E. M. **Introduction.** *In:* Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, 2019. p. 1-41.

ZAGORY, D.; KADER, A. A. **Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce.** Food Technology, v. 42, n. 9, p. 70-77, set. 1988.

ZHANG, J. J *et al.* **Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) during fruit development and maturation.** Journal of Experimental Botany, v. 62, n. 3, p. 1103-1118, jan. 2011.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

EFEITO DO HIDRORRESFRIAMENTO NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA AZEDINHA (*Rumex acetosa* L.)

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

Bianca Almada Ferreira Gomes, Hanna Elísia Araújo de Barros, Caio Vinicius Lima Natarelli, Elídio Zaidine Maurício Zitha, Elisângela Elena Nunes Carvalho, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO

A azedinha é uma hortaliça com alto potencial alimentício devido à sua capacidade antioxidante e altos teores de minerais, vitaminas, fibras e proteínas. Entretanto, por ser uma hortaliça não convencional é pouco explorada comercialmente, sendo escassos estudos que avaliam a aplicação e o efeito de técnicas pós-colheita sobre sua conservação. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar o efeito do binômio tempo/temperatura do hidrorresfriamento (10 e 20 minutos/0 °C, 10 °C e 20 °C) sobre a vida útil pós-colheita da azedinha. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial 2x3x6, com três repetições. A hortaliça foi armazenada à temperatura de 10±1 °C, com umidade relativa de aproximadamente 99 % durante 10 dias. Observou-se efeito do tempo e temperatura de hidrorresfriamento sobre a coloração, perda de massa fresca, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, vitamina C, clorofila, fenólicos totais e atividade antioxidante da hortaliça durante o armazenamento. Os resultados indicam que a aplicação da técnica reduziu a atividade respiratória e a perda de massa da azedinha, com ênfase para as amostras hidrorresfriadas a 20 °C por 10 e 20 minutos. As amostras controle e hidrorresfriadas à 0 °C apresentaram maior degradação de compostos bioativos como clorofila, vitamina C e compostos fenólicos totais, culminando em menor capacidade antioxidante ao final do armazenamento. Logo, o hidrorresfriamento a 20°C, por 10 ou 20 minutos, foi o mais eficiente em conservar as amostras de azedinha, mantendo-as em bom estado de conservação até o décimo dia de armazenamento.

Palavras-chave: Hortaliças não-convencionais. Prerresfriamento. Rede neural artificial. Vida de prateleira.

ABSTRACT

The sorrel is a vegetable with high nutritional potential due to its antioxidant capacity and high content of minerals, vitamins, fiber and protein. However, because it is a non-conventional vegetable, it is little commercially exploited, and studies evaluating the application and effect of postharvest techniques on its conservation are scarce. Thus, the objective of this work was to determine the effect of the binomial time/temperature of hydrocooling (10 and 20 minutes/0 °C, 10 °C and 20 °C) on the postharvest shelf life of sorrel. The experimental design was entirely randomized in a 2x3x6 factorial scheme with three repetitions. The vegetable was stored at a temperature of 10 ± 1 °C, with a relative humidity of approximately 99 % during 10 days. The effect of time and temperature of hydrocooling on the coloration, loss of fresh mass, soluble solids, titratable acidity, pH, vitamin C, chlorophyll, total phenolics and antioxidant activity of the vegetable during storage was observed. The results indicate that the application of the technique reduced the respiratory activity and mass loss of the sorrel, with emphasis on the samples hydrocooled at 20 °C for 10 and 20 minutes. The control samples and samples hydrocooled at 0 °C showed a higher degradation of bioactive compounds such as chlorophyll, vitamin C, and total phenolic compounds, culminating in lower antioxidant capacity at the end of storage. Therefore, the cooling at 20°C, for 10 or 20 minutes, was the most efficient in conserving the sorrel samples, keeping them in good conservation state until the tenth day of storage.

Keywords: Artificial neural network. Pre-cooling. Shelf life. Unconventional vegetables,

INTRODUÇÃO

As hortaliças não convencionais (HNC) são aquelas presentes em determinadas localidades ou regiões apresentando considerável significância na alimentação de populações tradicionais. No entanto, mudanças no padrão alimentar mundial levaram a um processo de esquecimento e desvalorização de espécies menos conhecidas (SILVA *et al.*, 2021). Estima-se, que 90 % da dieta mundial atual seja baseada em apenas 20 espécies vegetais incluindo o milho, soja, arroz e trigo, que são produzidos em maior escala. (KINUPP; LORENZI, 2014). Logo, apesar das HNC apresentarem alto potencial alimentício, ainda são subutilizadas na alimentação mundial por não estarem organizadas enquanto cadeia produtiva.

A azedinha (*Rumex acetosa* L.) é uma HNC da família Polygonaceae (SILVA *et al.*, 2013). É normalmente encontrada em regiões da América do Norte, Ásia e Europa e foi provavelmente introduzida no Brasil por colonos europeus (VASAS *et al.*, 2015). Pouco exigente quanto a nutrição mineral, se adapta bem a solos de média e baixa fertilidade (GAWEDA, 2008). Estudos indicam que essa espécie possui elevada capacidade antioxidante e altos teores de minerais, vitaminas, fibras e proteínas.

A azedinha é um produto hortícola altamente perecível, porque apresenta atividade metabólica elevada, notadamente após a colheita, culminando em modificações indesejáveis nas suas características físicas e químicas, conduzindo aos processos de deterioração. O manuseio cuidadoso e a adoção de tecnologias adequadas, entre elas o prerresfriamento, atuam reduzindo o metabolismo dos produtos vegetais e aumentando sua vida útil e podem ser aplicados na pós-colheita de hortaliças (PANGHAL *et al.*, 2018).

A técnica do prerresfriamento tem como principal objetivo retirar o calor de campo das frutas e hortaliças promovendo um controle mais rápido das taxas de temperatura e transpiração durante o armazenamento. Além disso, atua reduzindo a atividade microbiana, a taxa respiratória, transpiratória, a produção de etileno e a senescência. O pré-resfriamento pode ser realizado utilizando ar forçado ou água. O resfriamento utilizando água também é conhecido como hidrorresfriamento e pode ser realizado por imersão ou pulverização ou aliado ao vácuo ou ao gelo. A alta eficiência do hidrorresfriamento está relacionada à alta condutividade térmica da água, além do contato uniforme entre a água e a superfície do produto que promove rápida redução da temperatura. Esse processo evita a desidratação do produto e permite absorção de água melhorando a aparência da hortaliça (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

As informações sobre o efeito do hidrorresfriamento sobre as características físicas e químicas das hortaliças não convencionais são escassas. Por isso, a avaliação de sua

aplicabilidade e viabilidade na conservação de hortaliças como a azedinha consiste em uma alternativa para o aumento da oferta desse alimento e da renda de pequenos produtores. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do hidrorresfriamento sobre as características físicas e químicas da azedinha e sua influência na capacidade antioxidante desta hortaliça ao longo do armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

As folhas de azedinha (*Rumex acetosa* L.) foram obtidas de um único produtor rural da região de Lavras, Minas Gerais (lat. -21°22'S; long. -45°03'W), sendo colhidas nas primeiras horas do dia. Após a colheita, foram transportadas imediatamente para o Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA.

As folhas foram selecionadas quanto a ausência de danos mecânicos, podridões, manchas, uniformidade de tamanho, aproximadamente 20 cm, e coloração. Após a seleção, as folhas foram lavadas em água corrente e, em seguida sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio 100 mg.L⁻¹ por três minutos, com o intuito de prevenir o crescimento microbiológico.

Montagem e condução do experimento

As folhas sanitizadas foram submetidas aos seguintes tratamentos: sem hidrorresfriamento (controle) e hidrorresfriamento sob as condições apresentadas a seguir. 0 °C por 10 minutos; 10 °C por 10 minutos; 20 °C por 10 minutos; 0 °C por 20 minutos; 10 °C por 20 minutos e 20 °C por 20 minutos. A temperatura do hidrorresfriamento desejada foi ajustada utilizando água e gelo. Após atingida a temperatura de cada tratamento, as folhas foram imersas e a temperatura foi monitorada utilizando termômetro digital (NASCIMENTO, *et al.* 2017). Após a aplicação da técnica, o excesso de água foi retirado utilizando centrífuga manual e papel toalha. As amostras foram acondicionadas em embalagens flexíveis de polietileno espessura de 100 µm com fechamento do tipo *zip lock* e armazenadas em câmara fria à temperatura de 10±1 °C, com umidade relativa de aproximadamente 99 % durante 10 dias. A avaliação das amostras foi realizada aos 0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento.

Logo, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x3x6, correspondente a dois tempos de hidrorresfriamento (10 e 20 minutos), três temperaturas de hidrorresfriamento (0, 10 e 20°C) e 6 tempos de

armazenamento (0,2,4,6,8, 10 dias), com três repetições, sendo a parcela experimental constituída por 50 g das folhas de azedinha.

Atividade respiratória

A taxa respiratória da hortaliça foi avaliada seguindo a metodologia de Do Lago *et al.* (2020). Recipientes de vidro contendo amostras de massa conhecida de azedinha foram fechados por 120 minutos. Após esse tempo, a concentração de dióxido de carbono foi medida com auxílio do analisador de gases PBI Dansensor Check Point. Os resultados expressos em % de CO₂ foram convertidos para mL.CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, levando em consideração o volume do recipiente, a massa e o volume de hortaliça e o tempo em que o recipiente permaneceu fechado.

Concentração de CO₂ dentro da embalagem

A concentração de dióxido de carbono foi monitorada no headspace de cada embalagem utilizando o analisador de gases PBI Dansensor Check Point. A parcela experimental foi composta por três embalagens contendo aproximadamente 20 g da hortaliça.

Perda de massa

Determinada ao longo do armazenamento com auxílio de balança semi analítica digital, considerando a massa inicial e final do produto embalado (Equação 1). O resultado foi expresso em percentagem.

$$\frac{(\text{Massa inicial} - \text{massa final}) \times 100}{\text{Massa inicial}} = \text{Perda de massa (\%)} \quad (1)$$

Coloração

Determinada em três diferentes pontos da folha de azedinha utilizando colorímetro Minolta CR-400. A cor foi determinada a partir dos parâmetros de espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage determinando os valores de luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo hue (h°).

Clorofila

O teor de clorofila foi determinado espectrofotometricamente de acordo com Paradiso *et al.* (2018). Para determinação, folhas congeladas em nitrogênio líquido (0,5 g) foram trituradas, homogeneizadas em 15 mL de acetona e agitadas durante 20 minutos utilizando mesa agitadora. A mistura foi filtrada em papel filtro (papel filtro qualitativo, 15cm

de diâmetro, Unifil®) e transferidas para cubetas de vidro. A absorbância dos extratos foi lida em espectrofotômetro a 663 nm e 648 nm e a clorofila total calculada a partir da soma do teor de clorofila a (chl_a) e o teor de clorofila b (chl_b) de acordo com as equações 2 e 3:

$$\text{chl}_a \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 12,25 A_{663} - 2,55 A_{648} \quad (2)$$

$$\text{chl}_b \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 20,31 A_{648} - 4,91 A_{663} \quad (3)$$

Onde A é a absorbância do extrato em nm de acordo com o comprimento de onda. Os resultados obtidos foram convertidos para miligramas de clorofila por cem gramas de amostra fresca, considerando o volume de extrato e a massa inicial de amostra.

pH, Sólidos Solúveis e Acidez titulável

O pH foi determinado utilizando potenciômetro (Tecnal TEC-3MP), o teor de sólidos solúveis utilizando refratrômetro digital PAL-1 e a acidez titulável determinada por titulação utilizando hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N e fenolftaleína como indicador. Os resultados para o teor de sólidos solúveis foram expressos em porcentagem, enquanto a acidez titulável foi expressa em mg ácido cítrico 100 g⁻¹ de amostra (AOAC, 2010).

Vitamina C

O teor de vitamina C foi determinado utilizando 2,6-diclorofenol indofenol (DCPIP) segundo metodologia descrita por Gol *et al* (2013). Folhas congeladas em nitrogênio líquido (2,5 g) foram adicionadas em 10 mL de ácido metafosfórico 2%, homogeneizadas e mantidas sob agitação durante 20 minutos. A mistura foi filtrada utilizando papel filtro (papel filtro qualitativo, 15cm de diâmetro, Unifil®) e o extrato obtido (100 µL) foi adicionado à solução de 2,6-diclorofenol-indofenol (DCPIP) 0,1 % (186 µL) e incubado ao abrigo de luz durante 5 minutos. Após esse intervalo, a absorbância foi determinada a 518 nm utilizando o leitor de microplacas EZ Read 2000, Biochrom®. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra fresca, com base em uma curva de calibração construída com concentrações conhecidas de ácido ascórbico.

Fenólicos totais e atividade antioxidante

Os extratos foram obtidos conforme metodologia descrita por Ceccanti *et al.* (2020), adaptada. Dois gramas de amostra congelada em nitrogênio líquido + 20 mL de etanol 95 % foram submetidos à agitação por 30 minutos. Em seguida, o homogenato permaneceu no banho ultrassônico por 30 minutos à temperatura ambiente (25 °C). Posteriormente, o extrato

foi filtrado com papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15cm de diâmetro, Unifil®) e armazenado em frasco escuro à -18 °C, para posterior determinação do teor de fenólicos totais e da atividade antioxidante.

Determinação do teor de fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado pelas metodologias de Folin-Ciocalteu (WHATERHOUSE, 2002) e Fast Blue (MEDINA, 2011), com modificações. Para o ensaio de Folin Ciocalteu, em cada poço de uma microplaca foram adicionados 30 µL de extratos seguidos da adição de 150 µL do reagente Folin Ciocalteu 10 % (v/v) e 120 µL de uma solução de carbonato de sódio 4 % (p/v). A mistura foi incubada durante 2 h ao abrigo de luz e, posteriormente, adicionada ao leito de microplacas EZ Read 2000, Biochrom® para obtenção da absorbância a 720 nm.

Já para o ensaio de Fast Blue, em cada poço de uma microplaca foram adicionados 250 µL de extratos seguidos da adição de 25 µL do reagente Fast Blue 0,1 % (p/v) e 25 µL de uma solução de hidróxido de sódio 5 % (p/v). A mistura foi incubada durante 90 minutos ao abrigo de luz e posteriormente adicionada ao leitor de microplacas EZ Read 2000, Biochrom® para obtenção da absorbância a 420 nm.

Para ambos os ensaios foi construída uma curva padrão de ácido gálico, utilizando os reagentes específicos de cada ensaio, para obtenção de uma equação da reta que permitiu o cálculo do teor de fenólicos totais. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra fresca.

Determinação da atividade antioxidante: ensaios ABTS^{•+}, complexo fosfomolibdênio e β-caroteno/ácido linoleico

A atividade antioxidante foi calculada por três metodologias distintas sendo elas o radical ABTS, formação do complexo fosfomolibdênio e auto-oxidação do sistema beta-caroteno/ácido linoleico. Os resultados da determinação pela metodologia de 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) – ABTS^{•+} foram expressos em µMol de Trolox.g⁻¹ de amostra, com base em uma curva de calibração construída com concentrações conhecidas de TROLOX (AUZANNEAU *et al.*, 2018). Para o método do β-caroteno/ácido linoleico, os resultados foram expressos em percentagem de inibição da oxidação (% de proteção) (RUFINO *et al.* 2010). Já para o ensaio do complexo fosfomolibdênio os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido ascórbico. 100 g⁻¹ de amostra fresca, com base em uma curva de calibração construída com concentrações conhecidas de ácido ascórbico (PRIETO; PINEDA; AGUILAR, 1999)

Análise estatística

Os resultados relacionados aos parâmetros de cor (L^* , hue, C), sólidos solúveis, acidez titulável e pH, atividade respiratória, concentração de CO_2 , perda de massa, clorofila total, vitamina C, fenólicos totais e capacidade antioxidante foram submetidos à regressão polinomial e à análise de variância sendo as médias, quando significativas, comparadas pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade, utilizando a software SISVAR 5.1, versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2011). Os modelos de regressões polinomiais foram selecionados com base na significância do teste de F de cada modelo testado e também pelo coeficiente de determinação. Além disso, mapas auto organizáveis de Kohonen foram aplicados para classificar as amostras em clusters, de acordo com a semelhança de suas propriedades. O pacote SOM Toolbox 2.1 (VATANEN *et al.*, 2015) foi utilizado no programa Matlab R2015a, juntamente com as devidas modificações para melhorar a obtenção e a validação dos clusters, por meio dos índices de Davies-Bouldin e de Silhueta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

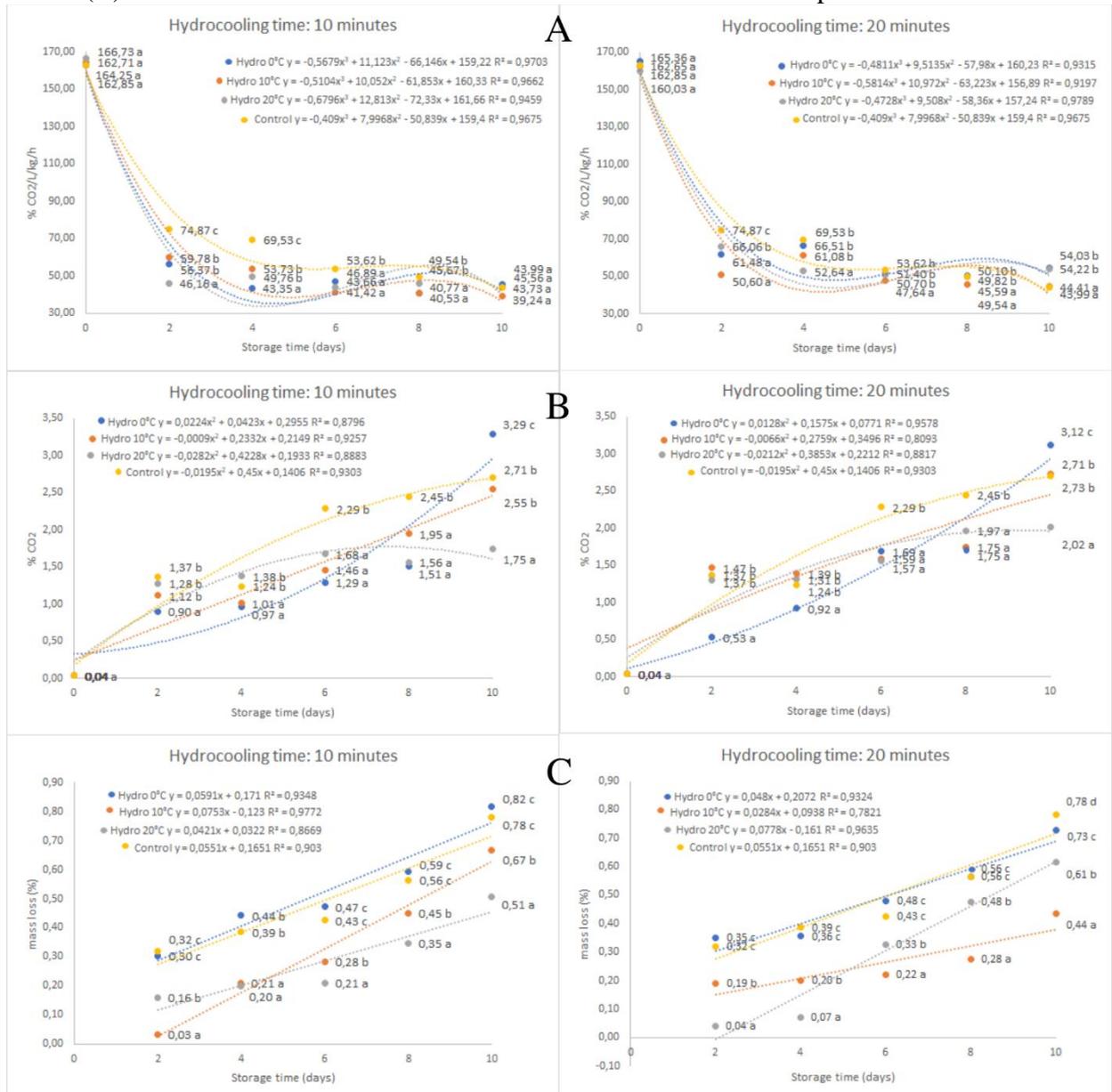
Todas as variáveis avaliadas foram influenciadas pela interação tripla dos fatores temperatura e tempo de hidrorresfriamento e tempo de armazenamento, à exceção da variável C^* , influenciada apenas pelo tempo de armazenamento ($p < 0,05$).

Atividade respiratória, concentração de CO_2 e perda de massa

Observou-se redução na atividade respiratória e aumento nas médias relativas a concentração de CO_2 e perda de massa, ao longo do armazenamento, independente da temperatura e do tempo de hidrorresfriamento (Fig. 1). De forma geral, as folhas controle apresentaram as maiores médias de atividade respiratória e de acúmulo de CO_2 nas embalagens, dos 2 aos 8 dias de armazenamento, o que se refletiu em maiores médias de perda de massa até os 10 dias de armazenamento. Visto que o CO_2 é um dos produtos finais da respiração, o maior acúmulo deste gás nas embalagens das folhas controle é coerente com sua maior atividade respiratória. A respiração desempenha um importante papel na atividade pós-colheita das hortaliças e o acúmulo de CO_2 conspira para a diminuição do seu metabolismo (ZHU *et al.*, 2019). O hidrorresfriamento atua reduzindo a taxa respiratória e o metabolismo das hortaliças. Quanto menor a atividade respiratória, maior o potencial de conservação do vegetal devido ao controle da perda de ácidos e outros componentes fundamentais para a qualidade das hortaliças. Sendo assim, o controle da respiração da

azedinha é fundamental para postergar a senescência e o hidrorresfriamento se mostrou eficiente em reduzi-la.

Figura 1 - Modificações na atividade respiratória (A), concentração de CO₂ (B) e perda de massa (C) de azedinha submetida ao hidrorresfriamento e armazenada por 10 dias à 10 °C.



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

A perda de massa das hortaliças após a colheita está relacionada à movimentação de água no produto após a colheita (Fig. 1C). A atividade respiratória, que culmina com perda de água e matéria orgânica, se associa diretamente com a perda de massa. Visto que a perda de massa é cumulativa, mesmo que as folhas controle não tenham apresentando as maiores médias de atividade respiratória no décimo dia de armazenamento, o efeito sobre a perda de massa se manteve por esse período. Aos 10 dias de armazenamento, as maiores médias dessas

variáveis foram notadas nas folhas hidrorresfriadas à 0°C por 10 ou 20 minutos, juntamente com o tratamento controle. Embora tenha se notado o benéfico efeito do hidrorresfriamento na redução da atividade respiratória e perda de massa das folhas, não foi possível identificar o mais efetivo binômio tempo/temperatura de hidrorresfriamento, por falta de efeito sistemático de qualquer um deles.

A perda de massa fresca em hortaliças pode ser atribuída tanto à respiração, que consiste na oxidação de carboidratos em dióxido de carbono e água, quanto à transpiração, que é a perda de água resultante da diferença de pressão de vapor d'água entre o interior do vegetal e o meio externo. A refrigeração e o controle da umidade relativa do ar são fatores que influenciam as perdas de hortaliças devido à redução na diferença de pressão de vapor entre o interior da planta e o meio (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Além disso, a aplicação do hidrorresfriamento auxilia na redução da taxa respiratória, com conseqüente redução na perda de água, conforme os resultados observados (NASCIMENTO *et al.*, 2017; MOREIRA *et al.*, 2019). Essa técnica também foi eficiente na redução da perda de massa em cebolinha (BETIN *et al.*, 2018), coentro (OLIVEIRA *et al.*, 2015), hortelã pimenta (BARBOSA *et al.*, 2016), jambu (OLIVEIRA *et al.*, 2017), ora-pro-nóbis (BARBOSA *et al.*, 2015), rúcula (MOREIRA *et al.*, 2019), manjeriço (GUIMARÃES *et al.*, 2018) e alface (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

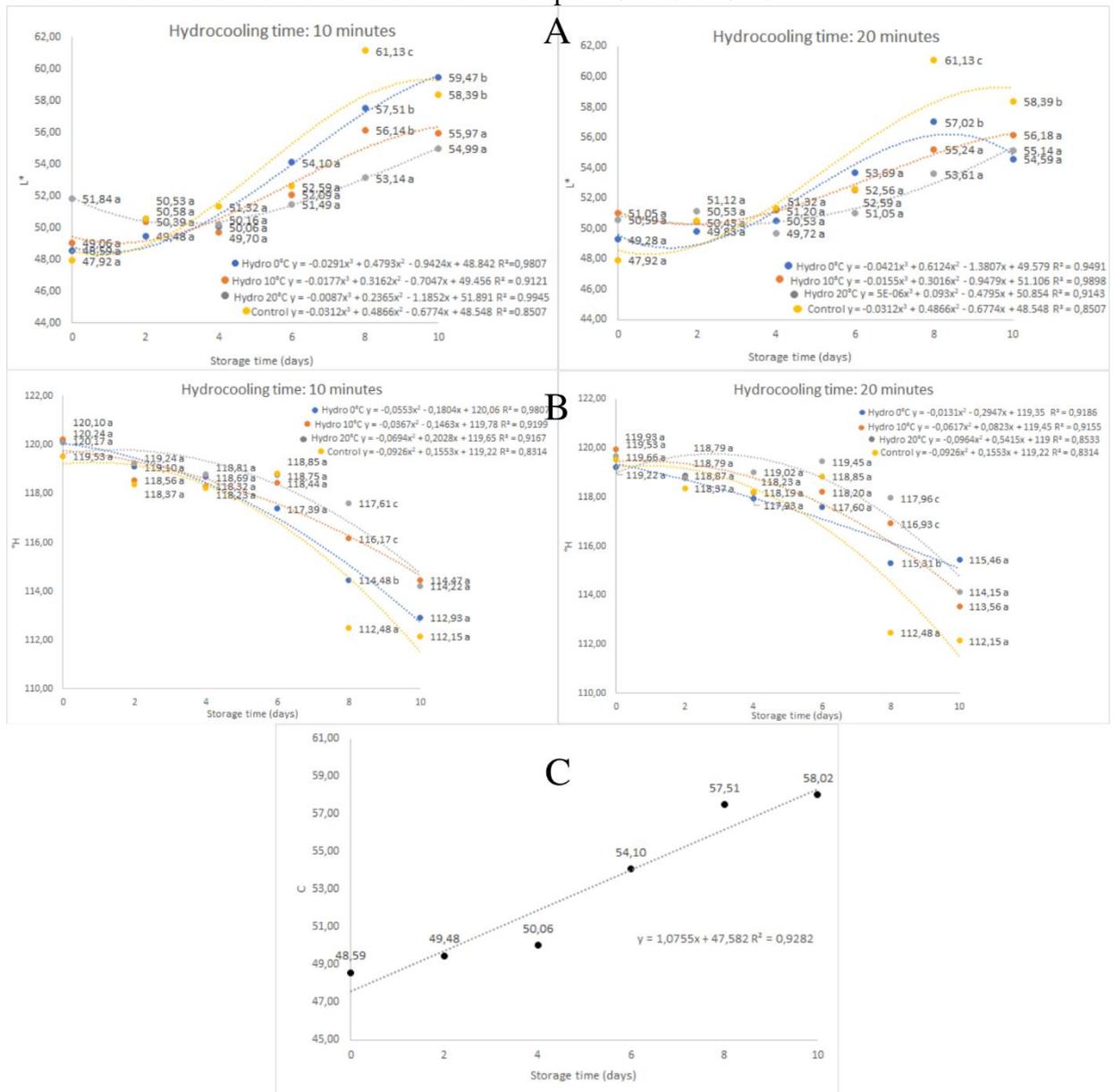
Coloração

Os valores médios para as variáveis L^* , h° e C^* no tempo inicial foram 49,74, 119,83 e 48,59, respectivamente (Fig. 2A, B e C). Os valores L^* da azedinha se mantiveram relativamente estáveis até o quarto dia de armazenamento, aumentando em seguida, a despeito do tratamento. Entretanto, até o sexto dia, nenhuma diferença foi observada entre as folhas hidrorresfriadas e controle. As folhas que não passaram pelo processo de hidrorresfriamento (controle) apresentaram maior valor L^* que as hidrorresfriadas, no oitavo dia de armazenamento. No décimo dias os maiores valores de L^* foram observados para as amostras controle e para as hidrorresfriadas à 0°C por 10 minutos (Fig. 1A). De modo geral, os menores aumentos do valor L^* ao término do armazenamento foram observados nas folhas hidrorresfriadas a 10° e 20°C, independente do tempo de imersão.

Quanto ao h° , tendência de queda foi notada ao longo do armazenamento, mais marcante a partir do sexto dia. Não obstante, diferenças entre os tratamentos só foram observadas no oitavo dia, quando as folhas hidrorresfriadas a 10° e 20°, por 10 e 20 minutos,

apresentaram os maiores valores (Fig. 1B). Aumento linear de C^* , de 48,59 para 58,02, do início ao final do armazenamento, foi observado (Fig. 1C).

Figura 2 - Modificações nos parâmetros L* (A), ângulo hue (B), cromia (C) em azedinha submetida ao hidrorresfriamento e armazenada por 10 dias à 10 °C.



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0.05$).

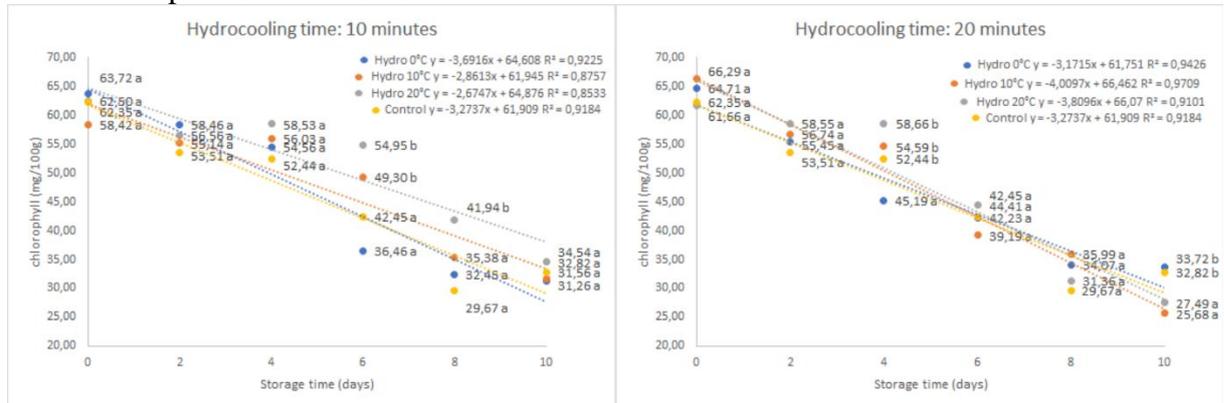
As alterações observadas em L*, $^{\circ}h$ e C* apontam alterações na coloração original da azedinha, ao longo do armazenamento. Os resultados sugerem que as folhas que apresentavam coloração verde clara, no início do armazenamento, perderam parcialmente a tonalidade verde, tornando-se mais escuras. O hidrorresfriamento a 10° e 20°C, independente do tempo de imersão, foi efetivo em reduzir a intensidade das alterações, ao final do armazenamento. Os menores valores de $^{\circ}h$ nas folhas controle e hidrorresfriadas à 0°C, no oitavo dia de armazenamento, podem ser associados ao seu amarelecimento, notado visualmente, o que corrobora a eficácia do hidrorresfriamento à 10°C e 20°C.

Segundo Tsantili *et al.* (2010), a perda da coloração verde pode estar relacionada à decomposição estrutural da clorofila em decorrência de fatores como alterações no pH, ativação da enzima clorofilase e presença de sistemas oxidantes. Além disso, o escurecimento das folhas pode estar relacionado ao rompimento de membranas que causam o extravasamento de conteúdos celulares que servem de substrato para enzimas antioxidantes. Esse processo pode levar ao aparecimento de manchas escurecidas, características da injúria por frio. Oliveira *et al.* (2017), observaram menor ocorrência de escurecimento das folhas de jambu submetidas ao hidrorresfriamento à 5°C em relação ao tratamento controle. Entretanto, Travassos *et al.* (2017), não observaram alterações visuais na coloração das folhas de cebolinha hidrorresfriadas a 12°C. Esses resultados corroboram com a eficácia do hidrorresfriamento, mas evidenciam que a temperatura ideal de aplicação da técnica pode variar entre diferentes hortaliças folhosas.

Clorofila total

A coloração verde das hortaliças folhosas depende de diversos fatores e sua perda pode estar relacionada a degradação de pigmentos como as clorofilas (FERRANTE *et al.*, 2004; ZHU *et al.*, 2018). Assim, o teor de clorofila é considerado um bom parâmetro para monitoramento da senescência das hortaliças folhosas. Houve redução nos teores de clorofila total ao longo do armazenamento, sendo as hortaliças submetidas ao hidrorresfriamento à 0 °C por 10 e 20 minutos as que apresentaram declínio mais rápido (Fig. 3). Oliveira *et al.* (2015), observaram redução nos teores de clorofila e maior amarelecimento de coentro submetido ao hidrorresfriamento à 5 °C. Segundo Heaton *et al.* (1996), a degradação da clorofila pode ser iniciada por diversos fatores incluindo alterações térmicas, o que pode explicar os resultados observados para as amostras hidrorresfriadas à 0 °C. Visto que a retenção de clorofila pode ser um indicativo de efetividade do hidrorresfriamento, notamos que os únicos tratamentos que se sobressaíram, comparados ao controle, foram 20°C/10min, aos 6 e 8 dias e 10°C/10 min, aos 6 dias de armazenamento

Figura 3 - Modificações no teor de clorofila em azedinha submetida ao hidrorresfriamento e armazenada por 10 dias à 10 °C.



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0.05$).

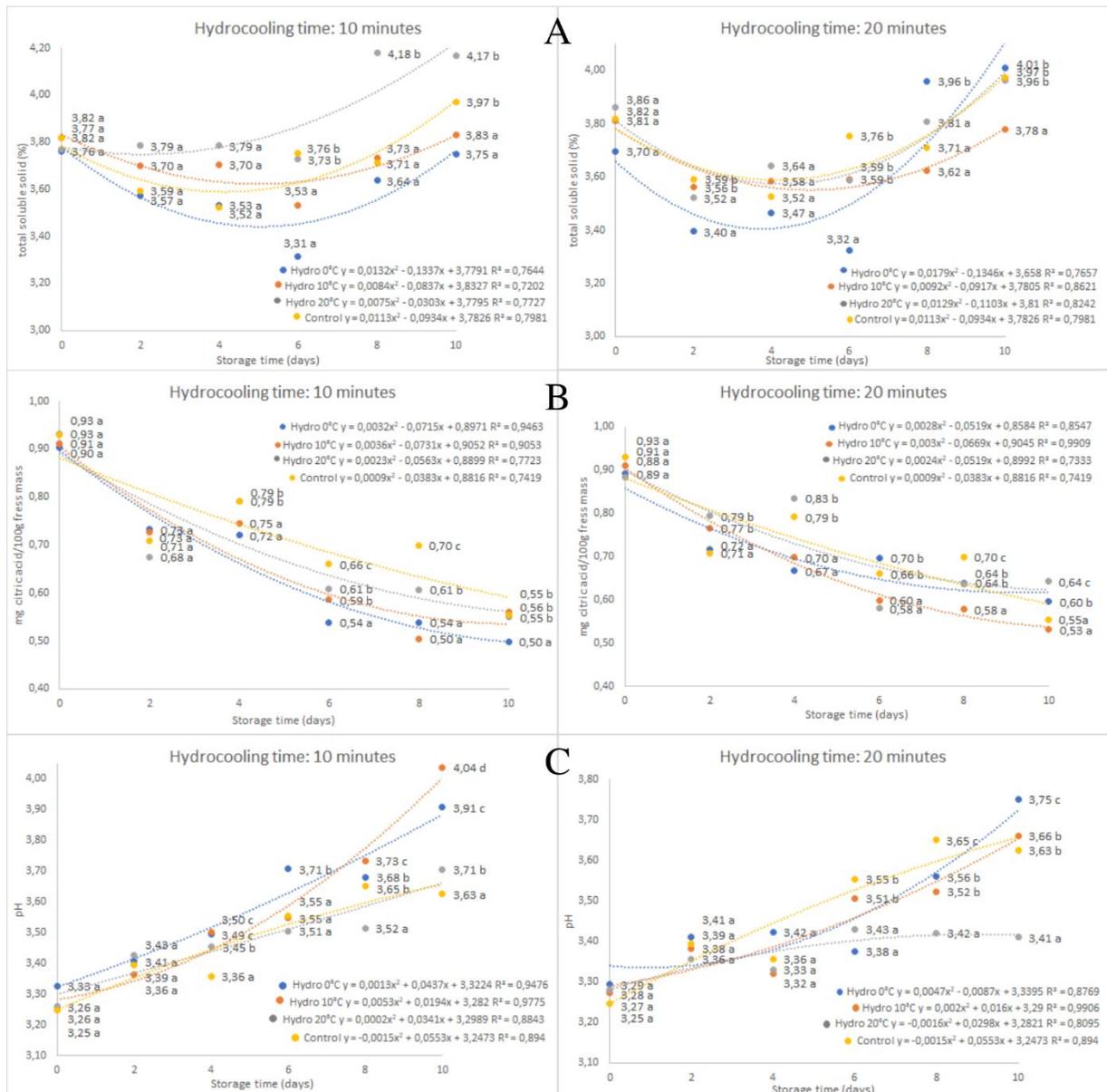
Sólidos solúveis, pH e acidez titulável

Os açúcares são, normalmente, os constituintes majoritários dos sólidos solúveis das frutas e hortaliças, seguidos pelos ácidos orgânicos, embora outros constituintes também façam parte dessa fração, como vitaminas, fenólicos e pectina, dentre outros compostos solúveis em água. O comportamento dos SS ao longo do armazenamento das folhas de azedinha foi semelhante entre os tratamentos, marcado por redução seguida de elevação (Fig. 4A). A exposição das folhas ao hidrorresfriamento por 10 minutos, independente da temperatura, não promoveu alterações significativas nas médias de SS nos 4 primeiros dias de armazenamento, embora diferenças tenham sido observadas a partir dos 6 dias. De forma geral, folhas controle e prerresfriadas a 20°C por 10 minutos apresentaram as maiores médias de SS, a partir dos seis dias de armazenamento. Quando a exposição das folhas ao hidrorresfriamento se deu por 20 minutos, diferenças entre os tratamentos foram notados aos 2, 6, 8 e 10 dias de armazenamento. De forma geral, as menores médias de SS foram observadas nas folhas expostas ao hidrorresfriamento a 0°C por 20 minutos e armazenadas por 2 e 6 dias, enquanto as maiores médias, nas folhas sob a mesma temperatura/tempo de exposição de hidrorresfriamento, aos 8 e 10 dias.

Segundo Moreira *et al.* (2019), o teor de SS de hortaliças folhosas tende a aumentar em função da senescência, ao longo do armazenamento. Esses autores observaram aumento nos teores desse parâmetro em folhas de rúcula submetidas ao hidrorresfriamento à 0°C e 10°C. Os tratamentos controle apresentaram maior aumento comparado com as amostras submetidas ao hidrorresfriamento, o que pode estar relacionado a menor perda de massa observada nas amostras submetidas ao tratamento (Fig. 1C). Esses resultados estão de acordo

com os observados neste estudo. Logo, o aumento notado a partir do sexto dia de armazenamento de azedinha pode estar relacionado às reações envolvidas na senescência, com ênfase na perda de água, que pode concentrar os SS.

Figura 4 - Modificações nos sólidos solúveis (A), acidez titulável (B) e pH (C) de azedinha submetida ao hidrorresfriamento e armazenada por 10 dias à 10 °C.



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

As maiores médias de SS na azedinha exposta ao hidrorresfriamento à 0°C por 20 minutos, a partir do oitavo dia de armazenamento, sugere possíveis injúrias provocadas por essa temperatura. Entretanto, o binômio tempo/temperatura é importante na possível

manifestação da injúria, visto que o mesmo não foi observado quando o hidrorresfriamento à 0°C ocorreu por 10 minutos. As baixas temperaturas utilizadas no hidrorresfriamento podem ocasionar o aparecimento de injúrias por frio, o qual apresenta grande impacto na integridade da membrana celular dos tecidos. Além disso, uma das consequências da exposição das hortaliças à baixas temperaturas e da perda da integridade da membrana nos tecidos é o estresse oxidativo que pode comprometer a qualidade dos tecidos (AGHDAM *et al.*, 2016).

O gosto ácido da azedinha, ditado pelos ácidos orgânicos, é seu principal atrativo de qualidade. De fato, os ácidos orgânicos encontram-se dissolvidos nos vacúolos das células das hortaliças e influenciam seu aroma e sabor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). As variáveis AT e pH apresentam, geralmente, comportamentos opostos, quanto maior o teor de AT, menor o pH, e vice-versa. Durante os dez dias de armazenamento foi observada redução da AT, acompanhada do aumento do pH (Fig. 4B e C).

Os ácidos orgânicos representam um dos principais substratos para os processos respiratórios durante a pós-colheita e de forma geral tendem a diminuir significativamente durante o armazenamento (TUCKER, 2009), como notado com base na redução da AT da azedinha. Sendo assim, observa-se uma relação entre o teor de ácidos orgânicos e o nível de deterioração das hortaliças.

Os efeitos do hidrorresfriamento sobre a AT e pH foram notados já a partir dos 4 dias de armazenamento. No início do armazenamento, a azedinha apresentou acidez média de 0,90 mg de ácido cítrico.100 g⁻¹ de amostra fresca e pH médio de 3,27. As amostras hidrorresfriadas à 20 °C por 20 minutos apresentaram maior acidez titulável e menor pH (0,64 mg de ácido cítrico 100g⁻¹ de amostra fresca e 3,41, respectivamente) no décimo dia, indicando menor degradação dos ácidos durante o armazenamento. Já as amostras submetidas ao hidrorresfriamento à 0°C por 10 minutos apresentaram menor acidez titulável e maiores valores de pH (0,50 mg de ácido cítrico 100g⁻¹ de amostra fresca e 3,91, respectivamente). Esses resultados estão de acordo com os observados por Oliveira *et al.* (2017) em folhas de jambu hidrorresfriadas à 5°C visto que a hortaliça apresentou redução na acidez a partir do 6° dia de armazenamento. Comportamento similar foi observado em folhas de coentro hidrorresfriadas (SOUZA *et al.* 2017) e em folhas de rúcula submetidas ao hidrorresfriamento à 0°C (MOREIRA *et al.*, 2019). Entretanto, para as amostras de rúcula hidrorresfriadas à 10°C houve aumento na acidez, com posterior redução neste parâmetro a partir do 6° dia de armazenamento. Para Chitarra e Chitarra (2005) essa variação durante o armazenamento pode estar relacionada à processos bioquímicos da respiração, que tanto sintetiza quando consome ácidos orgânicos à medida que a hortaliça vai chegando ao estágio de senescência.

Vitamina C, fenólicos totais e atividade antioxidante

Observou-se redução nos teores de vitamina C e fenólicos totais, bem como na atividade antioxidante das folhas de azedinha, ao longo do armazenamento, independente da temperatura e tempo de hidrorresfriamento (Figura 5 e 6). Enquanto a vitamina C é um composto único (ácido 2,3-enediol-L-gulônico), os compostos fenólicos fazem parte da maior classe de metabólitos em vegetais, incluindo os ácidos fenólicos, taninos e flavonoides. A vitamina C, também conhecida como ácido ascórbico, e os compostos fenólicos são potentes antioxidantes naturais de frutas e hortaliças e considerados importantes determinantes de sua atividade antioxidante, com potencial de prevenir inúmeras doenças crônicas não transmissíveis em seres humanos (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018; VIANA *et al.*, 2015) Logo, a redução da atividade antioxidante da azedinha durante o armazenamento é coerente com a redução dos teores de vitamina C e fenólicos totais (Fig. 5).

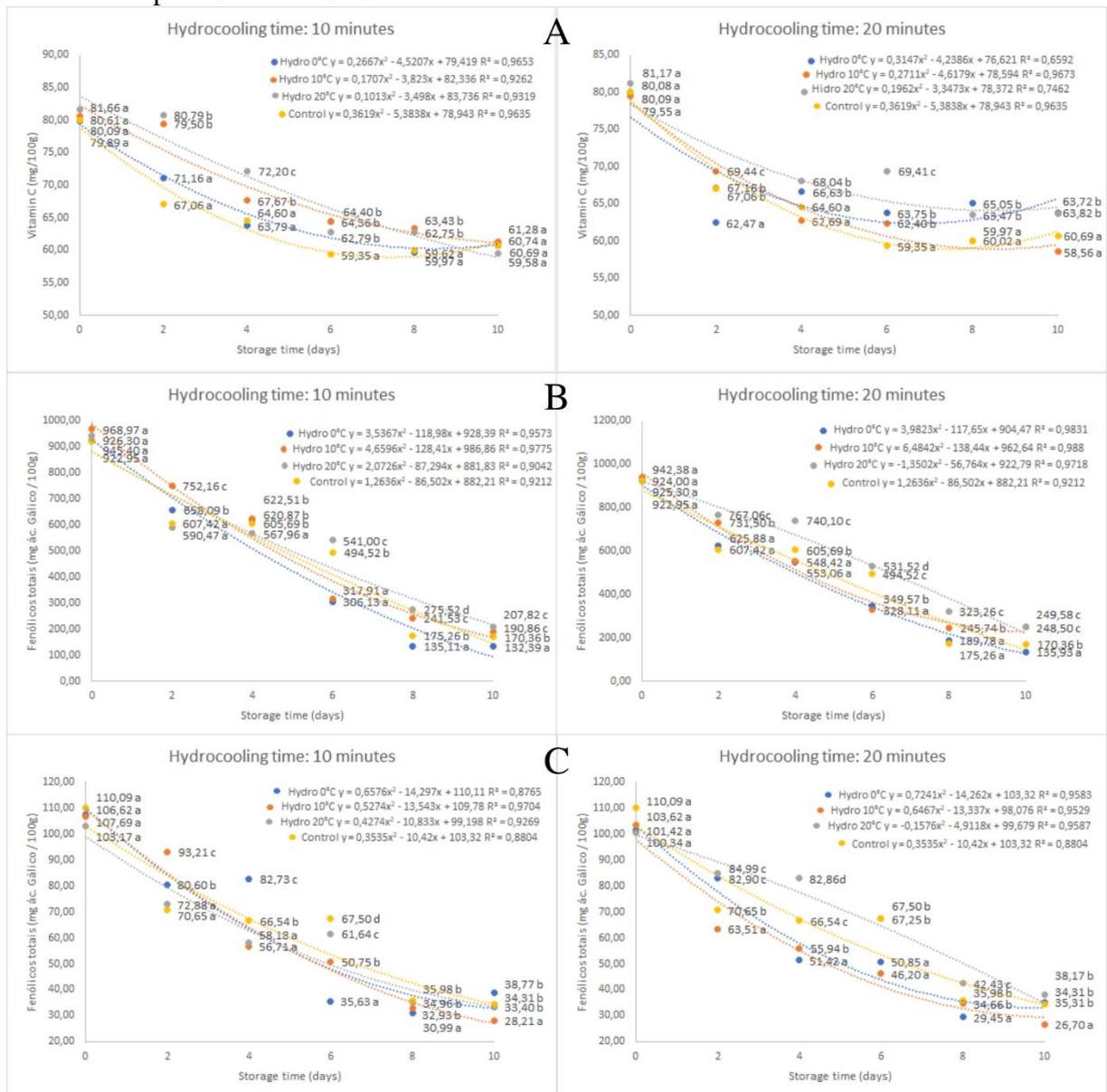
As folhas de azedinha apresentaram teor médio de 80,43 mg de vitamina C.100g⁻¹ de massa fresca no tempo inicial (Fig. 5A). No décimo dia os maiores valores de vitamina C observados foram de 66,73, 63,82 e 63,71 mg de vitamina C.100g⁻¹ de massa fresca para as amostras hidrorresfriadas à 0 °C por 10 minutos e 20 minutos e 20 °C por 20 minutos, respectivamente, representando uma redução de aproximadamente 19,48 % do teor de vitamina C. Já os demais tratamentos, incluindo o controle, apresentaram redução de aproximadamente 25 %, ao final do armazenamento, indicando eficiência do hidrorresfriamento no controle da perda de vitamina C, o que auxilia na manutenção da qualidade das hortaliças. O ácido ascórbico é um composto instável que se esgota gradualmente em produtos vegetais durante as fases pós-colheita (HEIMDAL *et al.*, 1995). Sua degradação está relacionada à alta sensibilidade à oxidação sob influência de agentes como luz, oxigênio e calor (BALAN *et al.* 2016; VIANA *et al.*, 2015). O pré-resfriamento não inibe sua degradação, mas auxilia na preservação da vitamina C como observado por Rivera *et al.* (2006) em folhas de alface submetidas ao hidrorresfriamento.

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando as metodologias de Fast Blue e Folin-Ciocalteu. O teor médio inicial foi de 936,47 mg de EAG.100g⁻¹ de matéria fresca para o método Fast Blue e 104,70 mg de EAG.100⁻¹ g de matéria fresca para o método Folin-Ciocalteu, sendo a diferença relacionada ao mecanismo de ação de cada método de determinação (Fig. 5B e C). O ensaio de Folin-Ciocalteu se baseia na redução dos ácidos fosfotúngstico e fosfomolibdico a tungstênio e molibdênio. Esse processo ocorre quando há o contato do reagente Folin-Ciocalteu com agentes redutores presentes nas matrizes alimentares (LAZZAROTTO *et al.*, 2020). Apesar de ser um método extremamente simples, substâncias

reduzidas, além dos polifenóis como proteínas, aminoácidos, nucleotídeos, ácido ascórbico e açúcares redutores podem interferir nos resultados. Já o mecanismo de ação do Fast Blue, envolve a reação entre o grupo diazônio e um anel aromático que apresenta grupos hidroxila (-OH), descartando a possibilidade de interferência de substâncias como os açúcares redutores (PICO *et al.*, 2020). Sendo assim, espera-se que a determinação utilizando o método de Folin apresente maior teor de fenólicos totais em comparação ao Fast Blue. Entretanto, folhas são normalmente pobres veículos de açúcares redutores, o que minimiza possíveis interferências que possam culminar com resultados superestimados pelo método de Folin-Ciocalteu. Ademais, estudos indicam que o método Fast Blue apresenta maior sensibilidade a uma série de polifenóis em comparação ao Folin, para a maioria das frutas e hortaliças, o que explica os maiores valores observados nesse estudo (SIANO *et al.*, 2022).

Observou-se variação no teor de fenólicos totais a partir do segundo dia de armazenamento. O tratamento hidrorresfriado à 10 °C por 10 minutos apresentou menor degradação desses compostos, em ambas as determinações, sendo obtidos 752,16 mg de EAG.100⁻¹ g de amostra fresca para o Fast Blue e 93,21 mg de EAG.100g⁻¹ de matéria fresca para o Folin-Ciocalteu. A degradação prosseguiu durante o armazenamento e no décimo dia as amostras hidrorresfriadas à 10 °C e 20 °C por 20 minutos apresentaram maiores teores de fenólicos determinados pela metodologia de Fast Blue (248,50 e 249,57 mg de EAG.100⁻¹ g de amostra fresca). A maior degradação foi observada nos tratamentos submetido ao hidrorresfriamento à 0 °C por 10 e 20 minutos (Fig. 5B e C).

Figura 5 - Modificações no teor de vitamina C (A) e compostos fenólicos determinados pelo método Fast Blue (B) e Folin Ciocauteau (C) de azedinha submetida ao hidrorresfriamento e armazenada por 10 dias à 10 °C.



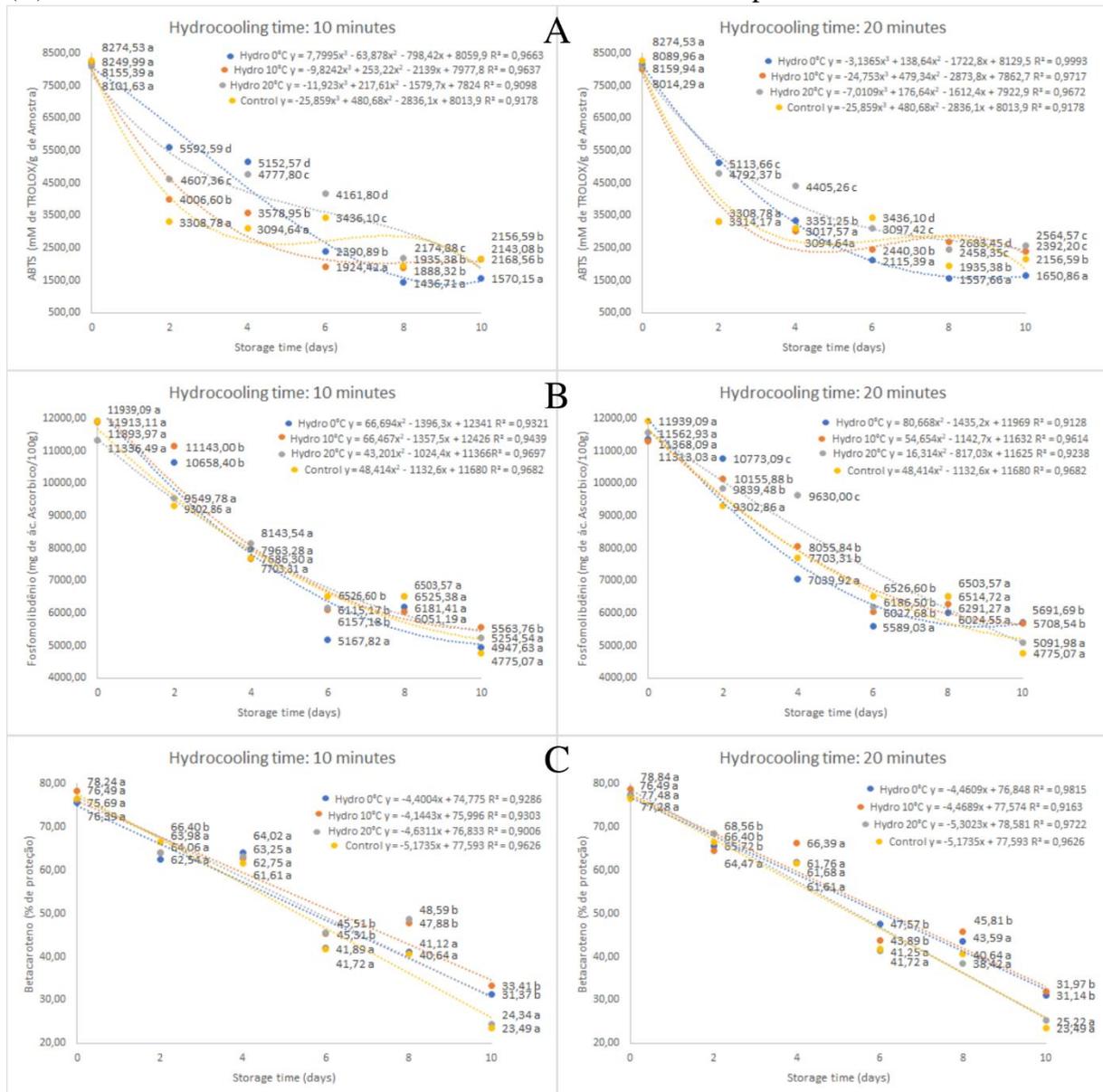
Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Tanto a vitamina C como os fenólicos podem atuar como antioxidantes primários, reagindo diretamente com radicais livres deletérios, eliminando-os, a exemplo, hidroxila, superóxido, oxigênio singlete e peróxido de hidrogênio. Podem atuar, também, como antioxidantes secundário, reduzindo as formas oxidadas de diversos compostos (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018)

Visto que os antioxidantes apresentam diversos modos de ação, os diferentes métodos usados para determinação da atividade são realizados sob diferentes condições

(TORRES *et al.*, 2019). A atividade antioxidante da azedinha foi avaliada baseado em três diferentes metodologias (Fig. 6).

Figura 6 - Modificações na capacidade antioxidante determinada pelos métodos radical ABTS (A), complexo fosfomolibdênio (B) e auto-oxidação do sistema betacaroteno/ácido linoleico (C) de azedinha submetida ao hidrorresfriamento e armazenada por 10 dias à 10 °C.



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0.05$).

Os valores médios obtidos no tempo inicial para o radical ABTS, complexo fosfomolibdênio e β -caroteno/ácido linoleico foram de 8149,38mM de TROLOX.g⁻¹ de matéria fresca, 11618,09 mg de ácido ascórbico.100g⁻¹ de matéria fresca e 77,20 % de proteção, respectivamente (Fig. 6A, B e C). Observou-se variação na atividade

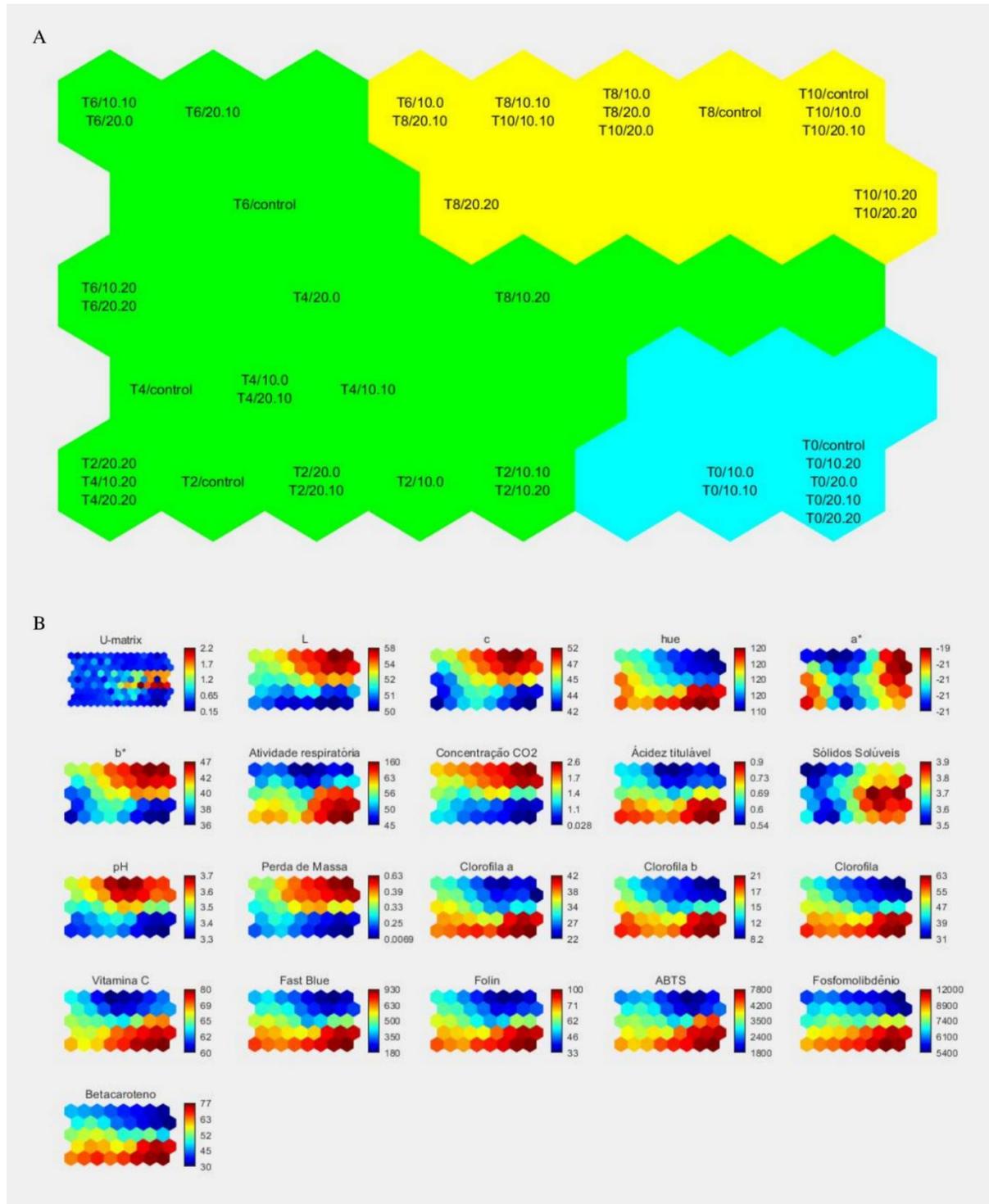
antioxidante das folhas, a partir do segundo dia de armazenamento, a despeito da metodologia utilizada. No caso do radical ABTS, no décimo dia de armazenamento os tratamentos hidrorresfriados à 10 °C e 20 °C por 20 minutos apresentaram maior atividade antioxidante (2392,20 e 2564,57 mM de TROLOX.g⁻¹ de matéria fresca, respectivamente) em comparação aos tratamentos hidrorresfriados a 0 °C por 10 e 20 minutos, que apresentaram menor atividade antioxidante (1570,14 e 1650,85 mM de TROLOX.g⁻¹ de matéria fresca, respectivamente) (Fig. 6A). Para a metodologia do complexo fosfomolibdênio a maior atividade antioxidante foi observada para os tratamentos hidrorresfriados à 10 °C por 10 e 20 minutos (5563,76 e 5691,69 mg equivalente de ácido ascórbico .100g⁻¹ de matéria fresca, respectivamente) em comparação ao tratamento hidrorresfriado a 0 °C por 10 minutos e o tratamento controle que apresentaram menor atividade antioxidante (4947,63 e 4775,07 mg equivalente de ácido ascórbico.100g⁻¹ de matéria fresca) (Fig. 6B). O comportamento foi similar para a metodologia oxidação do sistema betacaroteno/ácido linoleico, visto que a maior proteção do sistema foi observada para as amostras hidrorresfriadas a 10 °C por 10 e 20 minutos (33,41 e 31,97 % de proteção), enquanto a menor proteção foi observada para o tratamento controle que apresentou apenas 23,49 % de proteção do sistema no décimo dia (Fig. 6C).

Considerando os resultados, observa-se que o hidrorresfriamento à 10 °C por 10 e 20 minutos foi o mais eficiente em manter a atividade antioxidante das amostras durante o armazenamento. Entretanto, as demais temperaturas de hidrorresfriamento também foram eficientes considerando que a maior degradação de compostos fenólicos e menor atividade antioxidante foi a observada para as amostras controle no décimo dia de armazenamento.

Rede neural artificial associada a mapas auto-organizáveis de Kohonen (ANN/KSOM)

Os resultados obtidos para todas as análises realizadas foram utilizados para a obtenção do mapa auto-organizável de Kohonen (ANN/KSOM), um tipo de Rede Neural Artificial (Fig. 7). O Mapa Auto Organizável (SOM) é um tipo de rede neural artificial que se adapta aos padrões de dados por meio de um processo de organização não supervisionado. A forma como os “neurônios” organizam as amostras ao longo do mapa permite uma visualização mais intuitiva dos dados, permitindo melhor visualização da relação entre as amostras, em comparação aos métodos estatísticos convencionais (BARROS *et al.* 2021; KOHONEN, 1982).

Figura 7 - (A) Mapa neural bidimensional de agrupamento mostrando a formação de três grupos com suas respectivas amostras; (B) Mapas de componentes e matrix U gerados a partir das análises de coloração, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, atividade respiratória, concentração de CO₂, perda de massa, clorofila, vitamina C, compostos fenólicos totais (Fast Blue e Folin Ciocalteu) e atividade antioxidante (ABTS, complexo fosfomolibdênio e β-caroteno/ácido linoleico)



Na rede neural de Kohonen (ANN/KSOM), os mapas com diferentes dimensões foram gerados com o intuito de obter o arranjo que possui os melhores índices de validação de

clusters (índice de Davies-Bouldin e de Silhueta), juntamente com menores erros de medição (quantificação e erros topográficos). Quanto mais próximo de 1 (um) e 0 (zero) estiverem os valores obtidos para o Índice de Davies-Bouldin e de Silhueta, respectivamente, mais efetivo é o agrupamento obtido na rede. Além disso, para os erros de medição, o ideal é que se apresentem próximos à zero (DAVIES; BOULDIN, 1979; PEARCE; SHAAR; CROSBIE, 1977). A rede escolhida neste estudo foi hexagonal 5x8 com índice de Davies-Bouldin igual a 0,55557 e de Silhueta igual a 0,70818. O erro de quantificação (QE) foi de 0,40932, erro topográfico (TE) de 0 e erro combinado de 0,59944.

O mapa neural bidimensional de agrupamento (ou mapa topológico da rede), os mapas de componentes de cada análise e a matriz U são apresentados na Figura 7 A e B. A variação dos resultados obtidos nas determinações analíticas pode ser observada pelo gradiente de cor (extremidade direita de cada mapa).

Cada hexágono presente no mapa neural bidimensional de agrupamento representa um neurônio, no qual estão agrupados os tratamentos de acordo com suas similaridades. Partindo desse pressuposto, foi possível identificar a divisão das amostras em três grupos. O cluster localizado na parte inferior direita do mapa, destacado na coloração azul, diz respeito aos tratamentos no início do experimento (Tempo 0). Na parte inferior esquerda do mapa, cor verde, encontram-se as amostras de azedinha hidrorresfriadas e os tratamentos controle referentes ao segundo, quarto e sexto dia de armazenamento, com exceção das amostras submetidas ao hidrorresfriamento a 0 °C por 10 minutos, a qual se encontram no último grupo, em amarelo. No cluster de cor verde também pode ser observada a amostra hidrorresfriada a 20°C por 10 minutos no oitavo dia de armazenamento. Já no cluster destacado em amarelo, na parte superior do gráfico, encontram-se todas as amostras, independente do tratamento, referentes aos tempos oito e dez de armazenamento. Pode-se inferir que todos os agrupamentos realizados foram baseados nas semelhanças existentes entre as amostras, as quais estão relacionadas às características físicas e químicas da azedinha observadas, principalmente a partir do oitavo dia de armazenamento.

Os mapas de componentes para cada análise realizada e a matriz U estão apresentados na Figura 7B. A posição ocupada por uma amostra no mapa neural (Fig. 7A) corresponde à mesma posição no mapa de componentes (Fig. 7B), permitindo a localização dos valores encontrados para cada análise. Além disso, o agrupamento observado nos mapas de componentes permite identificar quais variáveis foram as principais responsáveis pelo agrupamento e separação das amostras.

Ao longo do armazenamento observou-se redução, independente do tratamento, da acidez titulável, da atividade respiratória, do teor de clorofila, do teor de vitamina C, dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante, o que pode ser confirmada pelos mapas de componentes de cada análise (Fig. 7B). Entretanto, é possível verificar efeito do hidrorresfriamento no armazenamento da azedinha, visto que as amostras controle tenderam a apresentar redução na concentração dos compostos bioativos de forma mais acentuada. Já em relação ao pH, à concentração de CO₂ e à perda de massa, pode-se inferir que ocorreu um aumento ao longo dos dez dias de armazenamento. Os tratamentos submetidos ao hidrorresfriamento, com destaque para a temperatura de 20 °C, apresentaram menor acúmulo de gás e perda de massa fresca. Além disso, nessas amostras foram obtidos maiores teores de compostos bioativos no decorrer do armazenamento em comparação as amostras controle e as submetidas às menores temperaturas de hidrorresfriamento.

De acordo com Teruel, Kiechbusck e Cortez (2004), a utilização do hidrorresfriamento promove a manutenção da qualidade das hortaliças e sua eficiência está relacionado ao controle mais rápido das taxas de temperatura e transpiração durante o armazenamento conforme os resultados obtidos neste estudo (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Sendo assim, a ANN/KSOM (Fig. 7 A e B) obtida a partir dos dados analíticos corroboraram com os dados da análise de variância já discutidos anteriormente no presente estudo, mostrando que o hidrorresfriamento foi eficiente em reduzir a atividade respiratória das amostras e permitiu a manutenção das características do vegetal por mais tempo.

CONCLUSÃO

Por meio do mapa auto-organizável de Kohonen (ANN/KSOM) as amostras foram divididas em 3 clusters de acordo com suas similaridades referentes à coloração, acidez titulável, pH, sólidos solúveis, atividade respiratória, concentração de CO₂, perda de massa, clorofila total, teor de vitamina C, teores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Essa divisão mostrou que a aplicação do hidrorresfriamento reduziu a degradação de compostos fundamentais para a qualidade da azedinha, como a clorofila, vitamina C e compostos fenólicos. Além disso, o hidrorresfriamento reduziu a atividade respiratória e perda de massa das amostras permitindo a manutenção da qualidade visual da azedinha durante todo o armazenamento. Os tratamentos hidrorresfriados à 20 °C por 10 e 20 minutos são os mais indicados para a conservação da hortaliça pois determinam menor taxa respiratória e menor degradação de compostos bioativos em comparação ao tratamento

controle e aos tratamentos submetidos ao hidrorresfriamento à 0 °C. Sendo assim, a aplicação da técnica garante a conservação da hortaliça até o décimo dia de armazenamento. Portanto, a utilização do hidrorresfriamento torna-se eficiente e passível de ser aplicada na pós-colheita, visando prolongar a vida útil da azedinha.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGHDAM, M. S *et al.* **Enhancement of postharvest chilling tolerance of anthurium cut flowers by γ -aminobutyric acid (GABA) treatments.** *Scientia Horticulturae*, v. 198, p. 52–60, 2016. DOI:10.1016/j.scienta.2015.11.019
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis.** 18th ed, 3th Review, Washington: AOAC, 2010. 1094 p.
- AUZANNEAU, N *et al.* **Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Lonicera caerulea* berries: comparison of seven cultivars over three harvesting years.** *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 66, P. 81-89, 2018.
- BALAN, D *et al.* **Changes in the nutrients content of some green vegetables during storage and thermal processing.** *Romanian Biotechnological Letters*, v. 21, n. 5, p. 11857-11865, set/out. 2016.
- BARBOSA, C. K. R.; FINGER, F. L.; CASALI, V. W. D. **Handling and postharvest shelf life of ora-pro-nobis leaves.** *Acta Scientiarum, Maringá*, v. 37, n. 3, p. 307-311, jul/set. 2015. DOI: 10.4025/actasciagron.v37i3.19510
- BARBOSA, C. K. R *et al.* **Effect of hydrocooling, packaging, and cold storage on the post-harvest quality of peppermint (*Mentha piperita* L.).** *Revista Brasileira Plantas Mediciniais*, v. 18, n.1, p.248-255, 2016. DOI: 10.1590/1983-084X/15_135
- BARROS, H. E. A *et al.* **Edible seeds clustering based on phenolics and antioxidant activity using multivariate analysis.** *LWT – Food Science and Technology*, v. 152, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112372
- BETIN, P. S *et at.* **Assessment of the post-harvest quality and conservation of spring onions submitted to hydrocooling.** *Revista Ingeniería y Región*, v. 20, p.79-87, 2018. DOI: 10.25054/22161325.1908
- CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. **Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives.** *Trends in Food Science & Technology*, 71, p. 107-120, jan. 2018.
- CECCANTI, C *et al.* **Suitability of Hydroponically-Grown *Rumex acetosa* L. as Fresh-Cut Produce.** *Horticulturae*, v. 6, n. 4, 2020.10.3390/horticulturae6010004

- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
- DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A. **Cluster Separation Measure**. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. PAMI, v.1, n.2, p.224–227, 1979. DOI: 10.1109/TPAMI.1979.4766909
- DO LAGO, R. C *et al.* **Effect of maturation stage on the physical, chemical and biochemical composition of black mulberry**. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, 2020.
- FERRANTE, A *et al.* **Colour changes of fresh-cut leafy vegetables during storage**. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.2, n. 34, p. 40-44. 2004.
- FERREIRA, D.F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- GAWEDA, M. **Heavy metal content in common sorrel plants (*Rumex acetosa* L.) obtained from natural sites in Malopolska province**. *Polish Journal of Environmental Studies* v. 18, p. 213-218, 2008.
- GOL, N. B.; PATEL, P. R.; RAMANA RAO, T. V. **Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan**. *Postharvest Biology and Technology*, v. 85, p. 185–195. 2013. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.06.008
- GUIMARÃES, L. N.; LIMA, P. C. C.; FINGER, F. L. **Quality and physiological changes of basil after hydrocooling and storage in two temperatures**. *Revista Agrarian*, v.11, n.41, p. 285-293, 2018. DOI: 0.30612/agrarian.v11i41.7151
- HEATON, J. W.; LENCKI, R. W.; MARANGONI, A. G. **Kinetic model for chlorophyll degradation in green tissue**. *Journal of Agricultural Food Chemistry* v. 44, p.399-402, 1996. DOI: 10.1021/jf950448x
- HEIMDAL, H *et al.* **Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA-packaged Iceberg lettuce**. *Journal Food Science*, v. 60, p. 1265 -1276, 1995. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1995.tb04570.x
- KINUPP, V. F. E.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, p.767, 2014.
- KOHONEN, T. **Self-organized formation of topologically correct feature maps**. *Biological Cybernetics*, v. 43, n.1, p. 59–69, 1982. DOI: 10.1007/BF00337288
- LAZZAROTTO, S. R. S *et al.* **Folin Ciocalteu adapted method to quantify polyphenols in yerba mate extracts**. *Revista Movimenta*, v.13, n.3, p.419-426, 2020.
- MEDINA, M. B. **Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method**. *Journal of Functional Foods*, v. 3, p. 79-87, 2011.
- MOREIRA, E. G. S *et al.* **Hydrocooling efficiency on postharvest conservation and quality of arugula**. *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS*, v. 6, n. 4, p. 36-41, out/dez. 2019. ISSN 2358-6303.

- NASCIMENTO, G. A. S *et al.* **Hydrothermal treatment in the conservation and lettuce postharvest quality.** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas. p. 65-76, v. 09, n. 01, 2017.
- OLIVEIRA, L. S *et al.* **Effect of hydrocooling in the postharvest shelf life of coriander leaves.** Horticultura Brasileira, 33, n. 4, p. 448-452, out/dez. 2015
- OLIVEIRA, O. M *et al.* **Embalagem e tratamento hidrotérmico na manutenção da qualidade pós-colheita de jambu.** Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 4, n. 3, p. 41-49, jul/set. 2017.
- PANGHAL, A *et al.* **Post-harvest malpractices in fresh fruits and vegetables: food safety and health issues in India.** Nutrition & Food Science, 48, n. 4, p. 561-578, 2018.
- PARADISO, V. M. *et al.* **Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens.** Food & Function, v.8, p. 5629-5640, 2018.
- PEARCE, J. G.; SHAAR, Z.; CROSBIE, R. E. **Scattering of energetic ions by solids — a simulation.** Simulation, v.29, n.4, p 97–104, 1977. DOI: 10.1177/003754977702900403
- PICO, J *et al.* **Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds.** Food & Function, v. 11, 2020. DOI: 10.1039/d0fo01857k
- PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. **Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E1.** Analytical Biochemistry, Bethesda, v. 269, p. 337–341, 1999.
- RIVERA, J. R. E *et al.* **Effects of ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 degrees C.** Journal of Food Science, 71, n. 3, p. S270-S276, abr. 2006.
- RUFINO, M. do S. M *et al.* **Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil.** Food Chemistry, v. 121, v.4, p.996–1002, 2010 DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037
- SIANO, F.; VASCA, E.; PICARIELLO, G. **Accurate determination of total biophenols in unfractionated extra-virgin olive oil with the fast blue BB assay.** Food Chemistry, v.370, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130990
- SILVA, E.C *et al.* **Characterization of two types of azedinha in the region of Sete Lagoas, Brazil.** Horticultura Brasileira, v. 31, n. 2, p. 328-331, 2013
- SILVA, L. F. L. E *et al.* **Nutritional characterisation and grouping of unconventional vegetables in Brazil.** Journal of Horticultural Science & Biotechnology, v. 96, p. 508-513, 2021. DOI: 10.1080/14620316.2021.1877200
- SOUZA, M. A *et al.* **Eficiência do hidrosfriamento na conservação e qualidade pós-colheita de coentro (*Coriandrum sativum* L.).** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas, Chapadinha-MA, v. 10, n. 1, p.32-40, 2017.

TRAVASSOS, A. P *et al.* **Hydrocooling in post-harvest conservation of onion.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.7, n.2, p.46-51, jun. 2017.

TSANTILI, E *et al.* **Antioxidant concentrations during chilling injury development in peaches.** Postharvest Biology and Technology, Amsterdã, NED, v. 57, n. 2, p. 27-34, 2010.

TERUEL, B.; KIECKBUSCH, T.; CORTEZ, L. **Cooling parameters for fruits and vegetables of different sizes in a hydrocooling system.** Scientia Agricola, 61, n. 6, p. 655-658, nov.dez. 2004.

TORRES, M. P *et al.* **Profile of phytochemistry and antioxidant activity of sorrel in function of organic fertilization and density of plantio.** Bioscience Journal. v. 35, n. 3, p. 775-783, 2019

TUCKER, G. A. Introduction. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. (Ed.). **Biochemistry of fruit ripening.** London: Chapman & Hall, 2009. p.2-51. 2009.

VASAS, A.; ORBÁN-GYAPAI, O.; HOHMANN, J. **The Genus Rumex: Review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology.** Journal of Ethnopharmacology, v. 175, n. 4, p. 198-228, 2015.

VATANEN, T *et al.* **Self-organization and missing values in SOM and GTM.** Neurocomputing, v.147, n.1, p. 60–70, 2015. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.02.061

VIANA, M. M. S *et al.* **Phytochemical composition and antioxidant potential of unconventional vegetables.** Horticultura Brasileira, 33, n. 4, p. 504-509, out/dez. 2015.

WHATERHOUSE, A. L. **Polyphenolics: Determination of total phenolic.** In: WROLSTAD, R, E. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York: John Wiley& Sons, 2002. Cap. 1.1, p. 1.1.1-1.1.8.

ZHU, Z., WU, X *et al.* **Effects of modified atmosphere vacuum cooling (MAVC) on the quality of three different leafy cabbages.** LWT - Food Science and Technology, v.94, p. 190–197, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.04.002

ARTIGO 2**INFLUÊNCIA DA ATMOSFERA MODIFICADA PASSIVA NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE FOLHAS DE *Rumex acetosa* L.**

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

Bianca Almada Ferreira Gomes, Hanna Elísia Araújo de Barros, Caio Vinicius Lima Natarelli, Elídio Zaidine Maurício Zitha, Ana Beatriz Silva Araújo, Gilson Gustavo Lucinda Machado, Elisângela Elena Nunes Carvalho, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do armazenamento sob atmosfera modificada passiva, utilizando diferentes embalagens (embalagens flexíveis de polietileno espessura de 100 µm, com fechamento zip lock (Z); flexível de polietileno de baixa densidade de 50 µm seladas (S) e embalagens de polietileno tereftalato pós consumo reciclado PET PCR com tampa de encaixe do mesmo polímero (C)), sobre as características físicas e químicas de folhas de azedinha (*Rumex acetosa* L.), uma hortaliça não convencional. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial (3x6), com três repetições. As amostras foram armazenadas à temperatura de 5 ± 1 °C, com umidade relativa de aproximadamente 99 % durante 10 dias. As variáveis atividade respiratória, coloração, teor de sólidos solúveis, pH, acidez, clorofila e carotenóides totais não foram influenciados pelas embalagens durante o armazenamento. Entretanto, observou-se efeito da técnica sobre a concentração de CO₂, perda de massa, vitamina C, teor de fenólicos totais e atividade antioxidante ao longo do armazenamento. A embalagem controle promoveu maior perda de massa e degradação de compostos bioativos com consequente redução na capacidade antioxidante das folhas de azedinha. Ambas as embalagens Z e S foram eficientes na manutenção da qualidade da hortaliça durante o armazenamento, entretanto, Z promoveu menor acúmulo de CO₂ no interior da embalagem. Logo, a embalagem selada foi a mais recomendada para o armazenamento da hortaliça devido à menor degradação de vitamina C e compostos fenólicos e maior capacidade antioxidante.

Palavras-chave: Atividade antioxidante. Azedinha. Coloração. Hortaliça não convencional. Perdas pós-colheita. Rede neural artificial. Vida útil.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of storage under passive modified atmosphere, using different packages (flexible polyethylene packaging of 100 μm thickness, with zip lock closure (Z); flexible low density polyethylene of 50 μm sealed (S) and post-consumer recycled polyethylene terephthalate PET PCR packaging with snap cap of the same polymer (C)), on the physical and chemical characteristics of leaves of sorrel (*Rumex acetosa* L.), an unconventional vegetable. The experimental design was entirely randomized in a factorial scheme (3x6), with three repetitions. The samples were stored at 5 ± 1 °C with a relative humidity of approximately 99 % for 10 days. The variables respiratory activity, coloration, soluble solids content, pH, acidity, chlorophyll and total carotenoids were not influenced by the packaging during storage. However, there was an effect of the technique on CO_2 concentration, mass loss, vitamin C, total phenolic content and antioxidant activity during storage. The control packaging promoted greater mass loss and degradation of bioactive compounds with a consequent reduction in the antioxidant capacity of the sorrel leaves. Both Z and S packages were efficient in maintaining the quality of the vegetable during storage, however, Z promoted less accumulation of CO_2 inside the package. Therefore, the sealed package was the most recommended for the storage of the vegetable due to the lower degradation of vitamin C and phenolic compounds and higher antioxidant capacity.

Keywords: Antioxidant activity. Artificial neural network. Coloration. Postharvest losses. Shelf life. Sorrel. Unconventional vegetable.

INTRODUÇÃO

As perdas pós-colheita representam um desperdício de recursos como água, terras cultiváveis e fertilizantes, além do impacto negativo sobre a disponibilidade de alimentos. Segundo dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2021), as perdas de alimentos ao redor do mundo estão estimadas em torno de 931 milhões de toneladas, anualmente. Entre 40 % a 50 % das perdas são de frutas e hortaliças, sendo que 54 % dessas perdas ocorrem nas etapas de produção, pós-colheita, manuseio e armazenamento, enquanto 46 % ocorrem durante a distribuição e consumo (DOS SANTOS *et al.*, 2020).

As técnicas de conservação pós-colheita são fundamentais para o melhor gerenciamento da produção agrícola mundial garantindo assim o acesso justo e igualitário a alimentos de qualidade por toda a população. Uma das técnicas mais utilizadas durante o armazenamento de hortaliças é a refrigeração, já que as baixas temperaturas reduzem a velocidade de modificações fisiológicas, aumentando a vida útil dos produtos (MORE *et al.*, 2020; PANGHAL *et al.*, 2018). Técnicas como a atmosfera modificada podem ser utilizadas de forma complementar a fim de potencializar a conservação de frutas e hortaliças (BOERZHJIN *et al.*, 2020).

A aplicação da atmosfera modificada envolve a redução da disponibilidade de oxigênio (O₂) e aumento na concentração de dióxido de carbono (CO₂) no interior das embalagens. Esse processo reduz a atividade metabólica das hortaliças, com ênfase para sua taxa respiratória, bem como a ação do etileno, por efeito da competição do CO₂ pelo sítio de ligação desse fitormônio, o que leva a diminuição das reações de síntese de compostos associados a senescência, redução das reações de degradação, controle da perda de água e degradação de compostos bioativos (ZAGORY; KADER, 1988). Existem dois tipos de atmosfera modificada (AM), sendo elas a AM ativa e a AM passiva. Em ambos os sistemas o equilíbrio de gases no interior da embalagem é alcançado após determinado período, de acordo com o efeito sinérgico da permeabilidade do filme e da respiração do vegetal, dependentes da temperatura de armazenamento. A diferença é que na AM ativa a concentração de gases no interior da embalagem tende a ser rapidamente estabilizada pela injeção inicial de uma quantidade predeterminada dos gases, de acordo com as características do produto embalado. Essa injeção inicial não ocorre na AM passiva. (GHIDELLI; PEREZ-GAGO, 2018; MUDAU *et al.*, 2018).

As informações sobre o efeito da atmosfera modificada em hortaliças não convencionais, como a azedinha são escassas. A azedinha (*Rumex acetosa* L.) é uma planta herbácea perene da família Polygonaceae que pode atingir de 25 a 55 cm de altura e formar

touceira com dezenas de propágulos. É considerada planta alimentícia não convencional e possui propriedades terapêuticas tais como antioxidante, antibacterianas, cicatrizantes, antineoplásicas, antiescorbútica, antidiarreica, antiinflamatória e anticancerígena, auxiliando também na modulação do sistema imunológico. Estudos indicam que essa espécie possui elevada atividade antioxidante e altos teores de minerais, vitaminas, fibras e proteínas (SILVA *et al.*, 2013).

A aplicação da atmosfera modificada passiva, objetivando-se o aumento da vida útil da azedinha, pode representar o resgate do consumo dessa hortaliça não convencional, com vistas à exploração de seu potencial nutricional e funcional, aumentando a diversidade da dieta dos indivíduos e promovendo a geração de renda e valorização de pequenos produtores. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do armazenamento sob atmosfera modificada passiva, utilizando diferentes embalagens, sobre as características físicas e químicas da azedinha.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

As folhas de azedinha (*Rumex acetosa* L.) foram obtidas de produtores locais da região de Lavras, Minas Gerais (lat. -21°22'S; long. -45°03'W) sendo colhidas, nas primeiras horas do dia. Toda a matéria-prima foi colhida somente de um produtor. Após a colheita foram transportadas imediatamente para o Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA.

As folhas foram selecionadas quanto a ausência de danos mecânicos, contaminação microbiológica visual, uniformidade de tamanho e coloração. Após a seleção, as folhas foram lavadas em água corrente e em seguida sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio 100 mg.L⁻¹ por três minutos, com o intuito de prevenir o crescimento microbiológico.

Montagem e condução do experimento

As folhas sanitizadas foram submetidas ao hidrorresfriamento à 20 °C durante 10 minutos. O processo foi realizado a partir da imersão das folhas em água e gelo até obtenção da temperatura desejada. A temperatura foi controlada utilizando termômetro digital (NASCIMENTO, et al. 2017). Após a aplicação da técnica o excesso de água foi retirado utilizando centrífuga manual e papel toalha e as amostras foram armazenadas de acordo com os seguintes tratamentos: embalagens flexíveis de polietileno espessura de 100 µm, com

fechamento zip lock (Z), flexível de polietileno de baixa densidade de 50 µm seladas (S) e embalagens de polietileno tereftalato pós consumo reciclado PET PCR com tampa de encaixe do mesmo polímero, utilizadas como controle (C). As amostras foram imediatamente acondicionadas em câmara fria à temperatura de 5 °C ±1, com umidade relativa de aproximadamente 99 % durante 10 dias. A avaliação das amostras foi realizada aos 0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x6, sendo três tipos de embalagens: embalagens flexíveis de polietileno espessura de 100 µm, com fechamento zip lock (Z); flexível de polietileno de baixa densidade de 50 µm seladas (S) e embalagens de polietileno tereftalato pós consumo reciclado PET PCR com tampa de encaixe do mesmo polímero, (C) e 6 tempos de armazenamento (0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias), com três repetições, sendo a parcela experimental constituída por 50g das hortaliças inteiras.

Concentração de CO₂ dentro da embalagem

A concentração de dióxido de carbono foi monitorada utilizando o analisador de gases PBI Dansensor Check Point. O equipamento consta com uma pequena agulha que foi inserida no headspace de cada embalagem. Para cada nível dos fatores, três pacotes diferentes foram avaliados e os resultados expressos em percentagem de CO₂.

Atividade respiratória

A taxa respiratória da hortaliça foi avaliada seguindo a metodologia de Do Lago *et al.* (2020). Recipientes de vidro contendo amostras de massa conhecida de azedinha foram fechados por 120 minutos. Após esse tempo, a concentração de dióxido de carbono foi medida com auxílio do analisador de gases PBI Dansensor Check Point. Os resultados expressos em % de CO₂ foram convertidos para mL.CO₂.kg⁻¹.h⁻¹, levando em consideração o volume do recipiente, a massa e o volume de hortaliça e o tempo em que o recipiente permaneceu fechado. As folhas de azedinha foram retiradas das embalagens e adicionadas aos recipientes de vidro a cada dois dias, durante o armazenamento da hortaliça.

Perda de massa

Determinada ao longo do armazenamento com auxílio de balança semi analítica digital considerando o peso inicial do produto embalado e o peso final (Equação 1). O resultado foi expresso em percentagem.

$$\frac{((\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \times 100)}{\text{Peso inicial}} = \text{Perda de massa (\%)} \quad (1)$$

pH, Sólidos Solúveis e Acidez total

O pH foi determinado utilizando potenciômetro (Tecnal TEC-3MP), o teor de sólidos solúveis utilizando refratrômetro digital PAL-1 e a acidez titulável determinada por titulação utilizando hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N e fenolftaleína como indicador. Os resultados para o teor de sólidos solúveis foram expressos em percentagem, enquanto a acidez titulável foi expressa em mg ácido cítrico 100 g^{-1} de amostra (AOAC, 2010).

Cor

Determinada em três diferentes pontos da folha de azedinha utilizando colorímetro Minolta CR-400. A cor foi determinada a partir dos parâmetros de espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage determinando os valores de claridade (L^*), croma (C^*) e ângulo hue (h°).

Clorofila

O teor de clorofila foi determinado espectrofotometricamente de acordo com Paradiso *et al.* (2018). Para determinação folhas congeladas em nitrogênio líquido (0,5 g) foram trituradas, homogeneizadas em 15 mL de acetona e agitadas durante 20 minutos utilizando mesa agitadora. A mistura foi filtrada em papel filtro (papel filtro qualitativo, 15cm de diâmetro, Unifil®) e transferidas para cubetas de vidro. A absorbância dos extratos foi lida em espectrofotômetro a 663 nm e 648 nm e a clorofila total calculada a partir da soma do teor de clorofila a (chl_a) e o teor de clorofila b (chl_b) de acordo com as equações 2 e 3:

$$chl_a \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 12,25_{A663} - 2,55_{A648} \quad (2)$$

$$chl_b \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 20,31_{A648} - 4,91_{A663} \quad (3)$$

Onde A é a absorbância do extrato em nm de acordo com o comprimento de onda. Os resultados obtidos foram convertidos para miligramas de clorofila por cem gramas de amostra fresca, considerando o volume de extrato e a massa inicial de amostra.

Carotenoides

A quantificação dos carotenoides foi realizada utilizando o método espectrofotométrico proposto por Rodriguez-Amaya (2001). Folhas congeladas em nitrogênio líquido (0,5 g) foram adicionadas de 20 mL de acetona P.A gelada e submetidas a agitação por 20 minutos. Após a extração, as amostras foram filtradas e o resíduo lavado com acetona. O filtrado foi transferido para funil de separação onde foram adicionados 30 mL de éter de petróleo e 100 mL de água destilada. Após a separação a fase incolor foi descartada e o procedimento realizado três vezes. O extrato obtido foi transferido para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com éter de petróleo. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444 nm, 450 nm, 456 nm, 462 nm e 470 nm que correspondem aos comprimentos de onda específicos dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ - caroteno, γ -caroteno e licopeno. O teor de cada carotenoide foi calculado segundo a equação 4:

$$\mu\text{g. g}^{-1} = \frac{A \times V \times 10^6}{A1\text{cm}1\% \times M \times 100} \quad (4)$$

Onde A é a absorbância da solução no comprimento de onda específico, V é o volume final da solução, A1cm1% é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e M é a massa da amostra tomada para a análise em g. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g.}100\text{g}^{-1}$ de amostra fresca.

Vitamina C

O teor de vitamina C foi determinado utilizando 2,6-diclorofenol indofenol (DCPIP) segundo metodologia descrita por Gol *et al.* (2013). Folhas congeladas em nitrogênio líquido (2,5 g) foram adicionadas em 10 mL de ácido metafosfórico 2%, homogeneizadas e mantidas sob agitação durante 20 minutos. A mistura foi filtrada utilizando papel filtro (papel filtro qualitativo, 15cm de diâmetro, Unifil®) e o extrato obtido (100 μL) foi adicionado à solução de DCPIP 0,1 % (186 μL) e incubado ao abrigo de luz durante 5 minutos. Após esse intervalo a absorbância foi determinada a 518 nm utilizando o leitor de microplacas EZ Read 2000, Biochrom®. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra fresca, com base em uma curva de calibração construída com concentrações conhecidas de ácido ascórbico.

Fenólicos totais e atividade antioxidante

Para obtenção dos extratos pesou-se 2 g de amostra congelada em nitrogênio líquido e 20 mL de etanol 95 %. A mistura foi submetida à agitação por 30 minutos em mesa agitadora e em seguida permaneceu no banho ultrassônico por 30 minutos à temperatura ambiente (25 °C). Posteriormente, o extrato foi filtrado com papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15cm de diâmetro, Unifil®) e armazenado em frasco escuro à - 18 °C para posteriores análises (CECCANTI *et al.*, 2020).

Determinação do teor de fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado pelas metodologias de Folin-Ciocalteu (WHATERHOUSE, 2002) e Fast Blue (MEDINA, 2011) com modificações. Para o ensaio de Folin-Ciocalteu, em cada poço de uma microplaca foram adicionados 30 µL de extratos seguidos da adição de 150 µL do reagente Folin-Ciocalteu 10 % (v/v) e 120 µL de uma solução de carbonato de sódio 4 % (p/v). A mistura foi incubada durante 2 h ao abrigo de luz e posteriormente adicionada ao leito de microplacas EZ Read 2000, Biochrom® para obtenção da absorbância a 720 nm.

Já para o ensaio de Fast-Blue, em cada poço de uma microplaca foram adicionados 250 µL de extratos seguidos da adição de 25 µL do reagente Fast-Blue 0,1 % (p/v) e 25 µL de uma solução de hidróxido de sódio 5 % (p/v). A mistura foi incubada durante 90 minutos ao abrigo de luz e posteriormente adicionada ao leitor de microplacas EZ Read 2000, Biochrom® para obtenção da absorbância a 420 nm.

Para ambos os ensaios foi construída uma curva padrão de ácido gálico, utilizando os reagentes específicos de cada ensaio, para obtenção de uma equação da reta que permitiu o cálculo do teor de fenólicos totais. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra fresca.

Determinação da atividade antioxidante: ensaios ABTS'+, complexo fosfomolibdênio e β-caroteno/ácido linoleico

A atividade antioxidante foi calculada por três metodologias distintas sendo elas o radical ABTS, formação do complexo fosfomolibdênio e auto-oxidação do sistema beta-caroteno/ácido linoleico. Os resultados da determinação pela metodologia de 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) – ABTS*⁺ foram expressos em µMol de Trolox.g⁻¹ de amostra, com base em uma curva de calibração construída com concentrações conhecidas de TROLOX (AUZANNEAU *et al.*, 2018). Para o método do β-caroteno/ácido linoleico os

resultados foram expressos em percentagem de inibição da oxidação (% de proteção). Já para o ensaio do complexo fosfomolibdênio os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico. 100g^{-1} de amostra fresca, com base em uma curva de calibração construída com concentrações conhecidas de ácido ascórbico (PRIETO; PINEDA; AGUILAR, 1999)

Análise estatística

Os resultados foram submetidas à regressão polinomial e à análise de variância sendo as médias, quando significativas, comparadas pelo teste de Scott Knott, a 5 % de probabilidade, utilizando o software SISVAR 5.1, versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2011). Os modelos de regressões polinomiais foram selecionados com base na significância do teste de F de cada modelo testado e também pelo coeficiente de determinação. Além disso, mapas auto organizáveis de Kohonen foram aplicados para classificar as amostras em clusters, de acordo com a semelhança de suas propriedades. O pacote SOM Toolbox 2.1 (VATANEN et al., 2015) foi utilizado no programa Matlab R2015a, juntamente com as devidas modificações para melhorar a obtenção e a validação dos clusters, por meio dos índices de Davies-Bouldin e de Silhueta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis concentração de CO_2 , perda de massa, vitamina C, fenólicos totais e atividade antioxidante foram influenciadas interativamente pelos fatores atmosfera modificada e tempo de armazenamento, enquanto as demais apenas pelo tempo de armazenamento, à exceção dos sólidos solúveis que não variaram significativamente em função dos fatores estudados ($p < 0,05$).

Concentração de CO_2 e atividade respiratória e perda de massa

Observou-se maior acúmulo de CO_2 , ao longo do armazenamento, nas embalagens seladas, seguidas pelas embalagens zip lock (Fig. 1A). A concentração de CO_2 saltou de 0,04%, no momento do fechamento da embalagem, para 2,12% e 0,69%, no segundo dia de armazenamento e para 2,16% e 0,53% ao final do armazenamento de S e Z, respectivamente. Pequenas oscilações foram notadas durante o armazenamento. Essas pequenas oscilações sugerem que a atmosfera de equilíbrio foi alcançada já aos dois dias de armazenamento. As concentrações de CO_2 nas embalagens controle variaram entre 0,04 a 0,11%. Logo, evidencia-se a efetividade das embalagens S e Z, mais pronunciada em S, em modificar a atmosfera em torno da azedinha.

A obtenção e manutenção da composição de gases nos alimentos armazenados sob atmosfera modificada envolve o controle de fatores como a umidade e a temperatura. Além disso, a escolha de embalagens que apresentem características de permeabilidade ao vapor de água, O₂ e CO₂ adequadas ao objetivo desejado é fundamental para o sucesso da aplicação da técnica. Sendo assim, a diferença na concentração de CO₂ observada entre as embalagens zip lock e selada pode estar relacionada às características do material que compõe cada embalagem (SHARMA *et al.*, 2021).

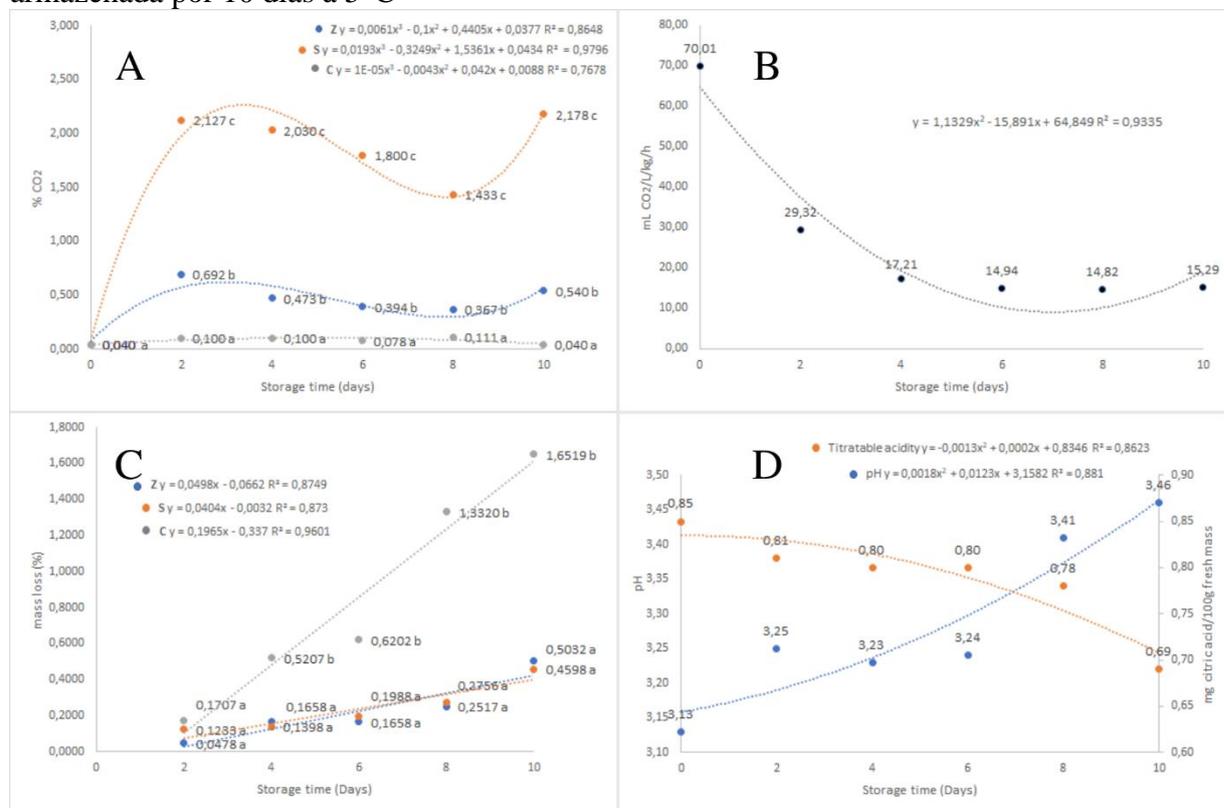
Soares *et al.* (2018), observaram rápido acúmulo de CO₂ em embalagens plásticas utilizadas no armazenamento de chicória. Nas embalagens de policloreto de polivinila (PVC) observou-se acúmulo de aproximadamente 3% de CO₂ resultando em menor escurecimento enzimático e maior conservação dos teores de vitamina C e compostos fenólicos. Entretanto, as embalagens de polipropileno (PP) promoveram acúmulo excessivo do CO₂ culminando no surgimento de odores indesejáveis, indicando sensibilidade da hortaliça a altas concentração de CO₂. Esses resultados evidenciam a importância da escolha de embalagens que promovam o surgimento de atmosfera adequada ao redor do vegetal armazenado.

Embora tenha se observado efeito das embalagens sobre a concentração de CO₂, ele não se refletiu, diferencialmente, na atividade respiratória das folhas, que reduziu ao longo do armazenamento (Figura 1B). Observou-se redução na atividade respiratória das folhas de azedinha de 70,01 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ para 17,21 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ nos quatro primeiros dias de armazenamento, seguida de tendência de estabilização até o décimo dia. A redução pode ser associada, principalmente, à ação do frio, visto que a azedinha foi prerresfriada à 20°C e em seguida armazenada à 5°C.

As embalagens S e Z determinaram menores aumentos da perda de massa da azedinha, em comparação ao controle, ao longo do armazenamento (Figura 1C). No décimo dia, as embalagens Z, S e controle apresentaram 0,50 %, 0,45 % e 1,65 % de perda de massa, respectivamente, em comparação a perda média de 0,11 % no segundo dia. A perda de massa pós-colheita de hortaliças folhosas se deve, principalmente, à perda de água por transpiração e respiração. Visto que as embalagens não interferiram na atividade respiratória da azedinha, seu efeito sobre a perda de massa pode ser atribuído, principalmente, à maior barreira ao vapor de água das embalagens S e Z, em comparação ao C. Segundo Reis *et al.* (2014), as embalagens plásticas proporcionam menor gradiente de pressão de vapor entre a atmosfera interna e a superfície do fruto, reduzindo a transpiração. A perda de massa envolve a redução na massa fresca e perda de turgidez do produto ao longo do tempo, devido à movimentação da água no interior do produto após a colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Esse processo

pode levar a danos fisiológicos nos tecidos e antecipar a senescência das hortaliças (SCHVAMBACH *et al.*, 2020). Assim, a maior perda verificada nas amostras controle se refletiu em menor qualidade aparente das hortaliças ao final do armazenamento, demonstrando a eficiência da atmosfera modificada passiva na conservação da azedinha. De fato, perdas de massa superiores a 1 % em folhosas, como observado no C, se refletem em murchamento visível e comprometimento da aparência.

Figura 1 - Modificações na concentração de CO₂ (A), atividade respiratória (B), perda de massa (C) e acidez titulável e pH (D) de azedinha armazenada nas embalagens Z, S e C e armazenada por 10 dias à 5°C



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0.05$).

Sólidos Solúveis, pH e acidez titulável

O teor de sólidos solúveis da azedinha se manteve praticamente estável durante todo o armazenamento, independente da embalagem utilizada, em média, 3,29 %. MOREIRA *et al.* (2019) associam os sólidos solúveis aos ácidos orgânicos, vitaminas e fenólicos presentes na composição da rúcula, hortaliça folhosa da família Brassicaceae. Esses compostos também podem ser associados aos sólidos solúveis de azedinha, além de açúcares, em quantidades insuficientes para conferir-lhe doçura.

O teor de acidez titulável da azedinha caiu de 0,85 mg de ácido cítrico.100g⁻¹ para 0,69 mg de ácido cítrico.100g⁻¹, queda refletida no aumento do pH de 3,13 para 3,47, durante o armazenamento, independentemente da embalagem utilizada (Fig. 1D). A acidez titulável diz respeito aos ácidos orgânicos presentes nas hortaliças, que tendem a declinar em decorrência de sua utilização como substrato respiratório (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A acidez titulável desempenha papel crucial na determinação do sabor de azedinha. A avaliação dos ácidos orgânicos em hortaliças, ao longo do armazenamento, também é importante pois permite o monitoramento da ocorrência de processos que envolvem a senescência de seus tecidos (ZAGORY; KADER, 1988).

Resultados similares foram obtidos por Fernandes *et al.* (2011), que também observou aumento no pH de folhas de rúcula acondicionadas em embalagens de isopor recobertas com PVC e sacos herméticos, ao final de 15 dias de armazenamento. O aumento foi menor para as folhas contidas nos sacos herméticos, em comparação àquelas armazenadas em embalagens de PVC. Além disso, comportamento semelhante ao obtido neste estudo foi observado por Carvalho *et al.* (2009) em relação à acidez titulável, para folhas de ora-pro-nóbis minimamente processadas, acondicionadas em embalagem plástica rígida de polipropileno com tampa e armazenada à 4°C. Observou-se oscilação nos valores médios de AT coerentemente com as variações no pH. Ao final do experimento as amostras apresentarem teores médios menores do que os encontrados no início do período de armazenamento sugerindo degradação dos ácidos orgânicos ao longo dos nove dias.

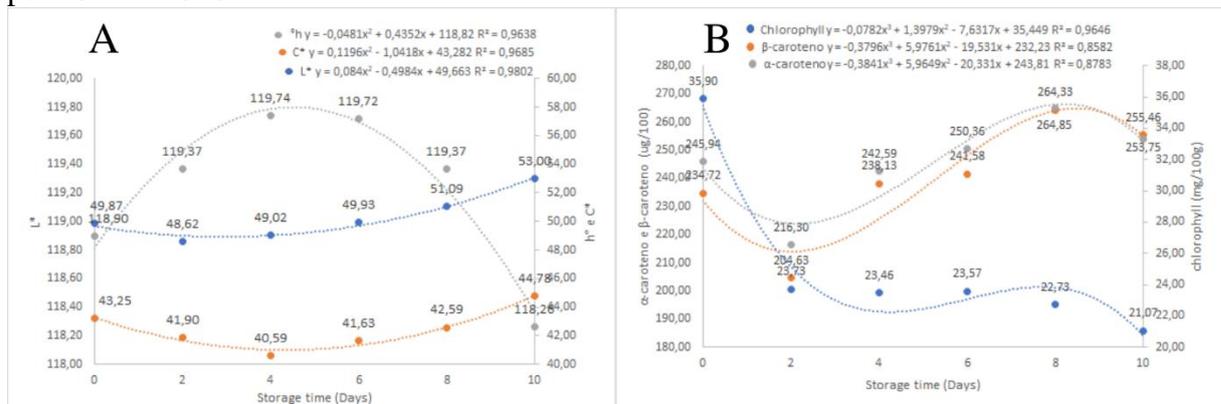
Coloração, clorofila total e carotenoides

Aumento no h°, nos primeiros quatro dias de armazenamento, seguido de queda foi observado na superfície das folhas de azedinha, enquanto comportamento oposto foi notado para L* e C*, a despeito da embalagem utilizada (P<0,05) (Fig. 2A). Entretanto, as variações observadas foram de magnitude pequena, considerando-se possíveis impactos na qualidade sensorial. Ao longo dos 10 dias de armazenamento, as seguintes oscilações foram observadas: h° - 118,9 a 188,26, com pico de 119,74 no quarto dia; C* - 43,25 a 44,78, com pico de 44,59 no quarto dia; L* - 49,87 a 53,00, com pico de 48,60 no segundo dia. Os resultados apontam a manutenção da coloração verde durante todo o armazenamento, com ligeiro aumento da intensidade de cor e claridade das folhas, ao final do armazenamento.

Observou-se redução de aproximadamente 34 % no teor de clorofila entre o tempo inicial (35,90 mg.100g⁻¹) e os dois primeiros dias de armazenamento (23,73 mg.100g⁻¹). A degradação da clorofila seguiu de maneira progressiva até o décimo dia, onde foram

observados os menores valores do pigmento ($21,07 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) (Fig. 2B). Segundo Park *et al.* (1999), a temperatura é o fator crítico envolvido na taxa de degradação da clorofila sendo esse processo um dos principais sintomas da senescência em hortaliças folhosas. Além disso, fatores outros, como a umidade do ar, também podem contribuir para uma maior taxa de degradação do pigmento (ÁLVARES; NEGREIROS, 2010).

Figura 2 - Modificações nos parâmetros L^* , C^* e h^o de coloração (A) e nos teores de clorofila e carotenoides (B) de azedinha armazenada nas embalagens Z, S e C e armazenada por 10 dias à 5°C .



Os carotenoides apresentam função antioxidante e desempenham um importante papel na proteção dos tecidos vegetais contra o dano provocado pela luz e oxigênio (PAULL; CHEN, 2003). Os tipos predominantes deste pigmento encontrados nas folhas de azedinha foram o α -caroteno e o β -caroteno com concentrações iniciais de $245,94$ e $234,72 \text{ ug} \cdot 100^{-1}$ de hortaliça, respectivamente. Houve redução nos teores de α -caroteno e β -caroteno durante os dois primeiros dias de armazenamento seguido de aumento no quarto dia. Os teores de α -caroteno permaneceram estáveis até o décimo dia, enquanto os teores de β -caroteno aumentaram novamente no oitavo dia, permanecendo estáveis até o final do armazenamento (Fig. 2B).

Resultados similares foram observados para folhas de espinafre armazenadas em sacos plásticos selados. Os autores sugerem que a diminuição no teor de clorofila e carotenoides pode estar relacionado ao efeito das baixas temperaturas sobre a estabilidade desses compostos (BALAN *et al.*, 2016).

Modificações na coloração de hortaliças folhosas, que levam ao seu amarelecimento, estão principalmente associadas a degradação da clorofila com consequente exposição de carotenoides (YAMAUCHI, 2015). Apesar das alterações nesses pigmentos, as alterações mínimas nas variáveis de coloração (h^o , L^* e C^*) ao longo do armazenamento não confirmam

mudanças consistentes na coloração da azedinha, que possam impactar negativamente em sua aparência. A manutenção da coloração verde pode estar relacionada ao efeito da AM nos níveis de vitamina C e compostos fenólicos, visto que foram observadas menor degradação desses compostos nas embalagens Z e S conforme apresentado posteriormente. Esses compostos agem reduzindo a perda de pigmentos, refletindo em uma maior preservação da cor das hortaliças (SOARES *et al.*, 2018). Logo, a redução dos teores de clorofila e a oscilação dos carotenoides não foram suficientes para comprometer a aparência da azedinha, durante 10 dias de armazenamento, independente da embalagem usada.

Vitamina C, fenólicos e atividade antioxidante

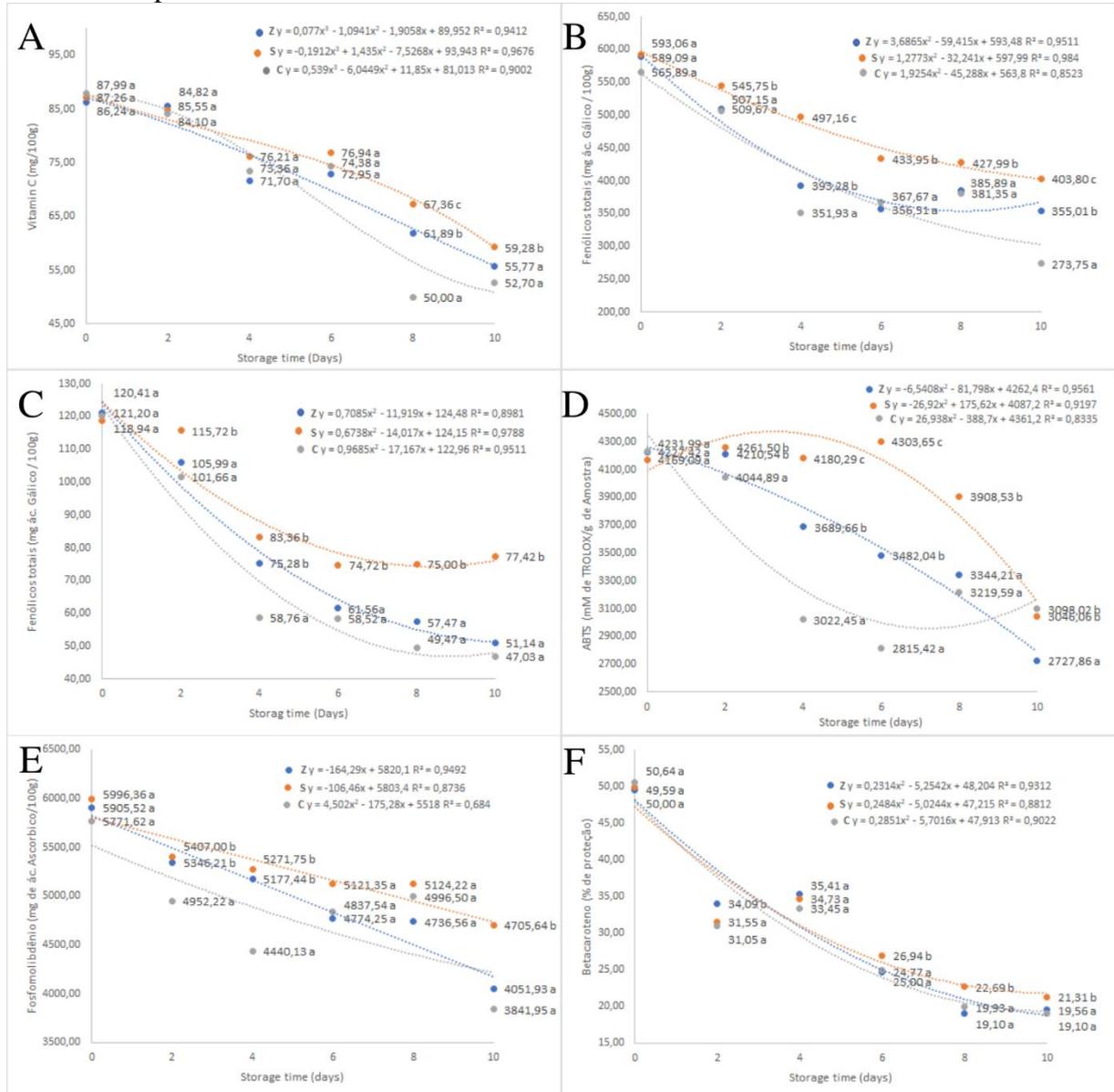
Reduções nos teores de vitamina C e fenólicos totais (Fast blue e Folin Ciocateau), bem como na atividade antioxidante medida por três métodos diferentes foram observadas nas folhas de azedinha acondicionadas nas diferentes embalagens, ao longo do armazenamento (Fig. 3).

Efeitos diferenciais das embalagens sobre os teores de vitamina C foram notados apenas no oitavo e décimo dia, quando a embalagem S se destacou com as maiores retenções dessa vitamina, em comparação às demais. Nenhuma diferença foi observada entre Z e controle, à exceção do oitavo dia, quando as médias de vitamina C de Z foram maiores (Fig. 3A).

Para as embalagens Z e controle, observou-se redução de 37,78 % no teor de vitamina C em comparação a redução de 33,13 % das amostras armazenadas na embalagem selada, ao término do armazenamento. Esses resultados são inferiores aos obtidos por Ceccanti *et al.* (2020) que observou redução de 60 % no teor de ácido ascórbico de azedinha armazenada em caixas plásticas durante 15 dias à 4°C. Sendo assim, sugere-se efeito benéfico da atmosfera modificada passiva na manutenção das concentrações desse nutriente com destaque para a embalagem selada, onde foram obtidos os maiores valores até o décimo dia.

A vitamina C pode ser considerada o nutriente mais instável encontrado nas frutas e hortaliças em função de sua alta sensibilidade à oxidação, se degradando após a colheita conforme observado neste estudo (BALAN *et al.*, 2016). Esse processo pode ser influenciado por diversos fatores como luz, oxigênio e temperatura. Além disso, segundo Lee e Kader (2000), altas concentrações de CO₂ (acima de 10 %), podem estimular a oxidação do ácido ascórbico, devido a probabilidade de ativação da ascorbato peroxidase. Nesse sentido, é fundamental a escolha de parâmetros e embalagens adequadas que possibilitem a obtenção apenas do efeito benéfico da atmosfera modificada.

Figura 3 - Modificações no teor de vitamina C (A) e compostos fenólicos determinados pelo método Fast Blue (B) e Folin Ciocauteau (C) e capacidade antioxidante determinada pelos métodos radical ABTS (D), complexo fosfomolibdênio (E) e auto-oxidação do sistema betacaroteno/ácido linoleico (F) de azedinha armazenada nas embalagens Z, S e C e armazenada por 10 dias.



Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada tempo, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

De forma geral, as médias de fenólicos totais, determinados por ambos os métodos, foram maiores nas folhas acondicionadas em S, a partir do segundo dia de armazenamento. Z determinou maiores médias dessa variável, em comparação ao controle, no quarto e décimo dia de armazenamento (Fig 3B e C). Os compostos fenólicos são metabólitos secundários das plantas associados a coloração, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa das frutas e hortaliças e quando consumidos atuam de forma benéfica no organismo humano (ZHANG;

TSAO, 2016). Após a colheita esses compostos podem ser utilizados pelos tecidos vegetais ou degradados de acordo com as condições de armazenamento como temperatura, umidade e luminosidade (HAARD, 1984).

O teor de compostos fenólicos obtido pelo método de Folin Ciocateau para a azedinha foi similar ao obtido por Arbos *et al.* (2010) para rúcula orgânica (126,84 mg EAG.100g⁻¹), alface orgânica (108,72 mg EAG.100⁻¹) e almeirão orgânico (92,15 mg EAG.100⁻¹), o que permite sugerir essa hortaliça como fonte de polifenóis similar às hortaliças convencionais. Além disso, o comportamento de queda dos fenólicos ao longo do armazenamento está de acordo com resultados observados para outras hortaliças folhosas como a alface, rúcula e chicória e pode estar relacionada à ação antioxidante desses compostos durante o armazenamento na tentativa de combater as modificações provocadas pela senescência (DEGL'INNOCENTI *et al.*, 2007).

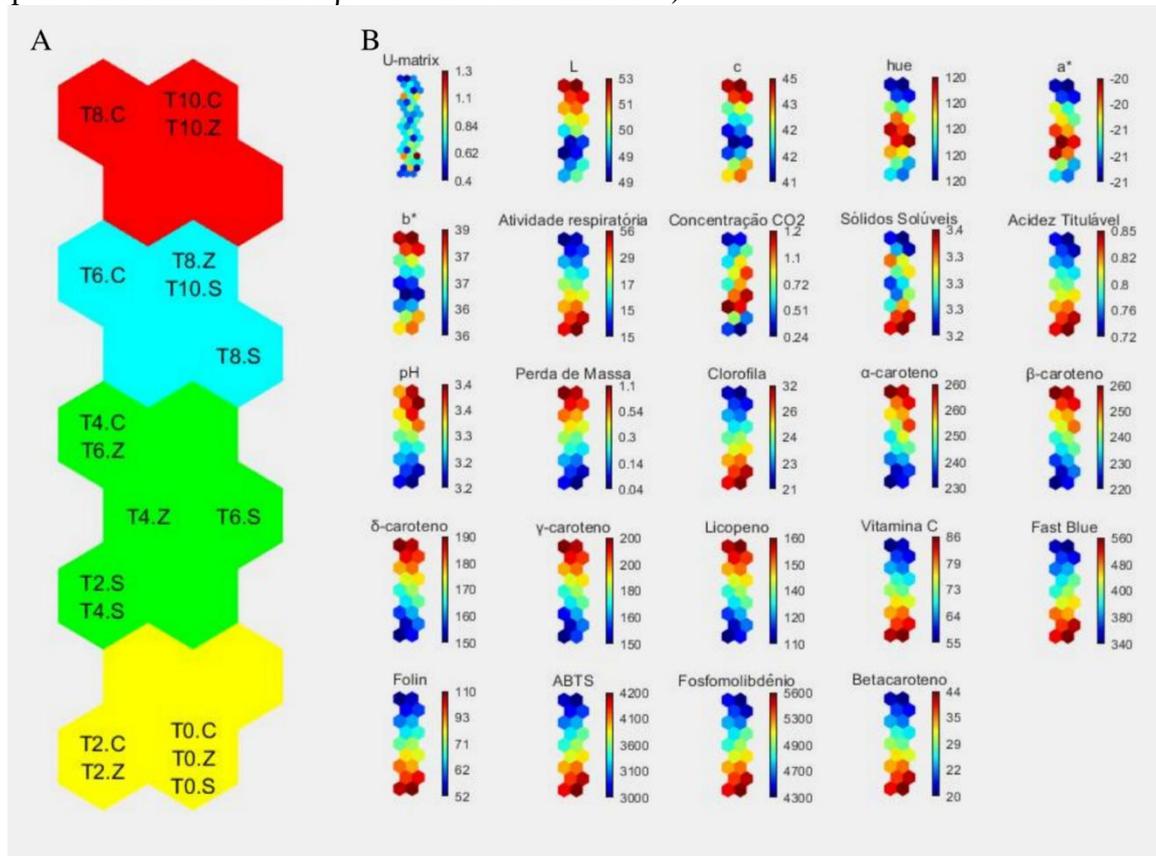
Assim como observado para vitamina C e fenólicos, potentes agentes antioxidantes, a embalagem S determinou, de forma geral, as maiores médias de atividade antioxidante, em comparação às outras embalagens, ao longo do armazenamento. Embora a embalagem Z não tenha sido tão efetiva, quanto S, na contenção da queda da atividade antioxidante, ela também se destacou, em comparação à embalagem controle, durante o armazenamento (Fig. 3).

A atividade antioxidante tem sido considerada um importante quesito na avaliação da qualidade das frutas e hortaliças e reflete o efeito sinérgico de múltiplos antioxidantes como polifenóis, carotenoides e vitaminas (QIAN *et al.*, 2016). Observou-se para as metodologias ABTS, complexo fosfomolibdênio e β -caroteno/ácido linoleico, valores médios de 4209,49 mM de TROLOX.g⁻¹, 5891,16 mg de equivalente de ác. ascórbico.100g⁻¹ e 50,07 % de proteção, respectivamente, para as amostras no tempo inicial (Fig. 3D, E e F). A capacidade antioxidante das amostras armazenadas na embalagem selada foi mais estável, mantendo valores similares aos obtidos no tempo inicial até o oitavo dia de armazenamento para as metodologias ABTS e complexo fosfomolibdênio. Além disso, no décimo dia de armazenamento as amostras armazenadas nessa embalagem apresentaram maior capacidade antioxidante (3046,05 mM de TROLOX.g⁻¹; 4705,64 mg de equivalente de ác. Ascorbico.100g⁻¹ e 21,31 % de proteção) em comparação às amostras controle (2727,86 mM de TROLOX.g⁻¹, 3841,95 mg de equivalente de ác. Ascorbico.100g⁻¹ e 19,09 % de proteção).

Rede neural artificial associada a mapas auto-organizáveis de Kohonen (ANN/KSOM)

Os resultados obtidos foram utilizados para a obtenção do mapa auto-organizável de Kohonen (ANN/KSOM), um tipo de Rede Neural Artificial (Fig. 4).

Figura 4 - (A) Mapa neural bidimensional de agrupamento mostrando a formação de quatro grupos com suas respectivas amostras; (B) Mapas de componentes e matrix U gerados a partir das análises de coloração, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, atividade respiratória, concentração de CO₂, perda de massa, clorofila, α -caroteno, β -caroteno, vitamina C, compostos fenólicos totais (Fast Blue e Folin Ciocalteu) e atividade antioxidante (ABTS, complexo fosfomolibdênio e β -caroteno/ácido linoleico)



A aplicação da rede neural artificial tem como objetivo classificar as amostras baseado em suas semelhanças, sendo o Mapa Auto Organizável (SOM) uma das técnicas passível de ser aplicada (BARROS *et al.* 2021; KOHONEN, 1982). Mapas com diferentes dimensões foram gerados de forma a obter o arranjo que possui os melhores índices de validação de clusters (índice de Davies-Bouldin e de Silhueta), juntamente com os menores erros de medição (erro de quantização, topográfico e combinado). Quanto mais próximo de 1 os valores obtidos para o Índice de Davies-Bouldin e de Silhueta, mais efetivo é o agrupamento obtido na rede. Já para os erros de medição, o ideal é que apresentem valores próximo a zero (DAVIES; BOULDIN, 1979; PEARCE; SHAAR; CROSBIE, 1977). A rede escolhida neste

estudo foi hexagonal 9x2 com índice de Davies-Bouldin igual a 0,55256 e de Silhueta igual a 0,7089. O erro de quantificação (QE) foi de 0,68531, erro topográfico (TE) de 0 e erro combinado de 0,97835.

O mapa neural bidimensional de agrupamento (ou mapa topológico da rede), os mapas de componentes de cada análise e a matriz U são apresentados na figura 4. A variação dos resultados obtidos nas análises físico-químicas pode ser observada pelo gradiente de cor (extremidade direita de cada mapa). Cada hexágono apresentado no mapa topológico da rede representa um neurônio e cada amostra é representada por um neurônio. Sendo assim, a divisão das amostras quanto a coloração, indicam o agrupamento das mesmas de acordo com suas semelhanças. Neste caso foi possível observar a divisão das amostras em quatro grupos. O cluster localizado na parte inferior do mapa, destacado na coloração amarela, diz respeito aos tratamentos no início do experimento (Tempo 0) e as amostras armazenadas na embalagem Z e C no segundo dia. A seguir, sob a cor verde, encontram-se as amostras de azedinha na embalagem S nos tempos 2, 4 e 6, amostras de azedinha na embalagem Z nos tempos 4 e 6 e amostras controle no 4º dia de armazenamento. No cluster de cor azul estão agrupadas as amostras armazenadas na embalagem S no oitavo e décimo dia de armazenamento, a amostra armazenada na embalagem Z no oitavo dia e a amostra controle no sexto dia de armazenamento. O último cluster, sob a cor vermelha, indica as amostras armazenadas na embalagem controle a partir do oitavo dia de armazenamento além das amostras armazenadas na embalagem Z no décimo dia de armazenamento.

Os mapas de componentes para cada análise realizada e a matriz U estão apresentados na Figura 4b. A posição ocupada por uma amostra no mapa neural corresponde à mesma posição no mapa de componentes, permitindo a localização dos valores encontrados para cada análise. Além disso, o agrupamento observado nos mapas de componentes permite identificar quais variáveis foram responsáveis pelo agrupamento e separação das amostras.

Ao longo do armazenamento, observou-se redução, independente do tratamento, na acidez titulável, atividade respiratória, teores de clorofila, carotenóides, vitamina C e fenólicos totais, bem como da atividade antioxidante, conforme observado nos mapas de componentes de cada análise. Identificou-se efeito da atmosfera modificada passiva no armazenamento da azedinha, visto que as amostras controle apresentaram redução na concentração dos compostos bioativos a partir do quarto dia de armazenamento, enquanto foi observada maior estabilidade nesses compostos para as embalagens Z e S. Para todos os tratamentos foi observado aumento no pH, concentração de CO₂ e perda de massa ao longo dos dez dias de armazenamento. Entretanto, maior acúmulo de CO₂ foi observado para os

tratamentos armazenados na embalagem S o que pode ser relacionado à menor perda de massa observada para esse tratamento, em comparação ao controle.

Sendo assim, a ANN/KSOM (Fig. 4) obtida a partir dos resultados analíticos está de acordo os dados da regressão polinomial discutidos anteriormente neste estudo. A divisão obtida indica que as embalagens Z e S foram eficientes em reduzir a perda de massa e a degradação dos compostos bioativos. O armazenamento sob atmosfera modificada passiva, especialmente utilizando a embalagem S, demonstrou alta eficiência na conservação das folhas, durante um período de dez dias, levando a uma melhor retenção de água e redução na taxa respiratória. O tratamento controle apresentou menor conservação da hortaliça como consequência da maior perda de água e taxa respiratória, levando a redução na qualidade das folhas de azedinha.

CONCLUSÃO

A divisão das amostras quanto a suas similaridades em um mapa auto-organizável de Kohonen (ANN/KSOM) mostrou que a embalagem controle promoveu maior perda de massa e maior degradação de vitamina C, compostos fenólicos totais e redução da capacidade antioxidante das folhas de azedinha. Foi observado menor acúmulo de CO₂ para a embalagem Z em comparação a embalagem S, entretanto ambas foram eficientes na manutenção das características físicas e químicas da hortaliça durante os dez dias de armazenamento. Os maiores teores de vitamina C, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante foram observados para as amostras armazenadas na embalagem selada. Esses resultados evidenciam a viabilidade do uso desta embalagem, aliado ao hidrorresfriamento, para conservação da azedinha.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed, 3th Review, Washington: AOAC, 2010. 1094 p.

ÁLVARES, V. S.; NEGREIROS, J. R. S. **Nota Científica. Pré-resfriamento e embalagem na conservação de folhas de salsa**. Brazilian Journal of Food Technology v. 13, p.107-111, 2010.

ARBOS, K. A *et al.* **Antioxidant activity and phenolic content in organic and conventional vegetables.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 30, n. 2, p.501-506, 2010.

AUZANNEAU, N *et al.* **Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Lonicera caerulea* berries: comparison of seven cultivars over three harvesting years.** *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 66, p. 81-89, 2018.

BALAN, D *et al.* **Changes in the nutrients content of some green vegetables during storage and thermal processing.** *Romanian Biotechnological Letters*, 21, n. 5, p. 11857-11865, set/out. 2016.

BARROS, H. E. A *et al.* **Edible seeds clustering based on phenolics and antioxidant activity using multivariate analysis.** *LWT – Food Science and Technology*, v. 152, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112372

BOERZHJIN, S *et al.* **Effect of perforation -mediated modified atmosphere packaging on the quality and bioactive compounds of soft kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* (DC) Alef. var. *sabellica* L.) during storage.** *Food Packaging and Shelf Life*, 23, p. 7, mar. 2020.

CARVALHO, P. G. B *et al.* **Hortalças como alimentos funcionais.** *Horticultura Brasileira* v.24, n.4, p. 397-404. 2006.

CECCANTI, C *et al.* **Suitability of Hydroponically-Grown *Rumex acetosa* L. as Fresh-Cut Produce.** *Horticulturae*, v. 6, n. 4, 2020.10.3390/horticulturae6010004

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. **A Cluster Separation Measure.** *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI, v.1, n.2, p.224–227, 1979. DOI: 10.1109/TPAMI.1979.4766909

DEGL'INNOCENTI, E *et al.* **Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in “lettuce”, “escarole” and “rocket salad” when stored as fresh-cut products.** *Food Chemistry*, v. 104, n.1, p. 209–215, 2007. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.11.02

DO LAGO, R. C *et al.* **Effect of maturation stage on the physical, chemical and biochemical composition of black mulberry.** *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, 2020.

FAO. 2021. **Food waste index.** Report 2021. <
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2022.

FERREIRA, D. F., **Sisvar: a computer statistical analysis system.** *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GHIDELLI, C.; PEREZ-GAGO, M. B. **Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables.**

Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58, n. 4, p. 662-679, 2018.

GOL, N. B., PATEL, P. R.; RAMANA RAO, T. V. **Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan.** Postharvest Biology and Technology, v. 85, p. 185–195. 2013. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.06.008

HAARD, N. F. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables.** Journal of Chemical Education, 61, n. 4, p. 277-283, 1984.

KOHONEN, T. **Self-organized formation of topologically correct feature maps.** Biological Cybernetics, v. 43, n.1, p. 59–69, 1982. DOI: 10.1007/BF00337288

LEE, S. K.; KADER, A. A. **Pre-harvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops.** Postharvest Biology and Technology, v. 20, n.3, p. 207–220, 2000. DOI: 10.1016/S0925-5214(00)00133-2

MEDINA, M.B. **Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method.** Journal of Functional Foods, v. 3, p. 79-87, 2011.

MORE, A. S *et al.* **Biomarkers associated with quality and safety of fresh-cut produce.** Food Bioscience, v.34, p.10, 2020.

MOREIRA, E. G. S *et al.* **Hydrocooling efficiency on postharvest conservation and quality of arugula.** Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 6, n. 4, p. 36-41, out./dez. 2019. ISSN 2358-6303.

MUDAU, A. R *et al.* **Influence of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Baby Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Leaves.** Hortscience, 53, n. 2, p. 224-230, Feb 2018.

NASCIMENTO, G. A. S. *et al.* **Hydrothermal treatment in the conservation and lettuce postharvest quality.** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas. p. 65-76, v. 09, n. 01, 2017.

PANGHAL, A *et al.* **Post-harvest malpractices in fresh fruits and vegetables: food safety and health issues in India.** Nutrition & Food Science, 48, n. 4, p. 561-578, 2018.

PARADISO, V. M. *et al.* **Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens.** Food & Function, v.8, p. 5629-5640, 2018.

PARK, K. W *et al.* **Effects of film package and storage temperature on the quality of parsley in modified atmosphere storage.** Acta Horticulturae, v.483, p.291-298, 1999.

PAULL, R. E.; CHEN, C. C. **Postharvest physiology, handling, and storage of Pineapple.** In: Bartholomew DP, Paull RE & Rohrbach KG (Eds.) The Pineapple: Botany, Production and Uses. Wallingford, CABI Publishing. p.253-279, 2003.

PEARCE, J. G.; SHAAR, Z.; CROSBIE, R. E. **Scattering of energetic ions by solids — a simulation.** Simulation, v.29, n.4, p 97–104, 1977. DOI: 10.1177/003754977702900403

PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. **Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E1.** *Analytical Biochemistry*, Bethesda, v. 269, p. 337–341, 1999.

QIAN, H *et al.* **Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts.** *Food Chemistry*, v. 196, p. 1232–1238, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.10.055.

REIS, H. F *et al.* **Conservação pós-colheita de alface crespa, de cultivo orgânico e convencional, sob atmosfera modificada.** *Horticultura Brasileira* v.32, p. 303-309. DOI: 10.1590/S0102-05362014000300011

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods.** Washington: Internacional Life Sciences Institute Press, p. 64, 2001.

RUFINO, M.S.M *et al.* **Bioactive compounds and antioxidante capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil.** *Food Chemistry*, v. 121, p. 996-1002, 2010. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037

SHARMA, S *et al.* **Essential oils as additives in active food packaging.** *Food Chemistry*, 343, p. 10, mai. 2021.

SCHVAMBACH, M. I *et al.* **Conservation of crisp lettuce in diferente post-harvest storage conditions.** *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 67, n. 4, p. 247-250, 2020.

SANTOS, S. F. dos. *et al.* **Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies.** *Waste Management*, 101, p. 161-170, jan. 2020.

SILVA, E. C *et al.* **Characterization of two types of azedinha in the region of Sete Lagoas, Brazil.** *Horticultura Brasileira*, v. 31, n. 2, p. 328-331, 2013.

SOARES, C. D. F *et al.* **Passive modified atmosphere affects the quality of minimally processed escarole.** *Journal of Food Process Preservation*, n. 13724, 2018. DOI: 10.1111/jfpp.13724.

VATANEN, T *et al.* **Self-organization and missing values in SOM and GTM.** *Neurocomputing*, v.147, n.1, p. 60–70, 2015. DOI: 10.1016/j.neucom.2014.02.061

WHATERHOUSE, A. L. Polyphenolics: **Determination of total phenolic.** In: WROLSTAD, R, E. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons, 2002. Cap. 1.1, p. 1.1.1-1.1.8.

YAMAUCHI, N. **Postharvest chlorophyll degradation and oxidative stress.** In Y. Kanayama, & A. Kochetov (Eds.). *Abiotic stress biology in horticultural plants* (pp. 101–113). Tokyo: Springer, 2015. DOI:10.1007/978-4-431-55251-2_8.

ZAGORY, D.; KADER, A. A. **Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce**. Food Technology, 42, n. 9, p. 70-77, set. 1988.

ZHANG, H.; TSAO, R. **Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects**. Current Opinion in Food Science, v. 8, p. 33–42, 2016. DOI: 10.1016/j.cofs.2016.02.002.