

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS JABOTICABAL**

**PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
CENOURA UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA**

Yara Karine de Lima Silva
Engenheira agrônoma

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS JABOTICABAL**

**PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
CENOURA UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA**

**Yara Karine de Lima Silva
Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani
Dr. Alberto Carvalho Filho
Dr. Renato Adriane Alves Ruas**

**Tese de doutorado apresentada à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para obtenção do título de
Doutora em Agronomia (Ciencia do Solo)**

2024

S586p

Silva, Yara Karine de Lima

Previsão de produtividade e qualidade de cenoura utilizando
aprendizado de máquina / Yara Karine de Lima Silva. -- Jaboticabal,
2024

109 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientador: Alberto Carvalho Filho

1. Solo. 2. Mapeamento. 3. Qualidade. 4. Índice de vegetação. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CENOURA UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA

AUTORA: YARA KARINE DE LIMA SILVA

ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

COORIENTADOR: ALBERTO CARVALHO FILHO

COORIENTADOR: RENATO ADRIANE ALVES RUAS

COORIENTADORA: SAMIRA LUNS HATUM DE ALMEIDA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas / FCAV UNESP Jaboticabal


Documento assinado digitalmente
EVERALDO ANTONIO LOPES
Data: 15/01/2024 17:38:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. EVERALDO ANTÔNIO LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Profa. Dra. SABRINA ALVES DA SILVA (Participação Virtual)
Instituto de Saúde e Produção Animal / Universidade Federal Rural de Amazônia


Documento assinado digitalmente
SABRINA ALVES DA SILVA
Data: 15/01/2024 10:58:25-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. AFONSO LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas / FCAV UNESP Jaboticabal

Profa. Dra. TATIANA FERNANDA CANATA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas / FCAV UNESP Jaboticabal



Jaboticabal, 15 de janeiro de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

YARA KARINE DE LIMA SILVA – nascida em Cedro do Abaeté, Minas Gerais, no dia 06 de dezembro de filho de Divino Eustáquio de Lima e Mary Aparecida Pessoa. Coursou os ensinios fundamental e médio na Escola Frederico Campos em sua cidade de origem, finalizando-os no ano de 2013. Ingressou no ensino superior no ano de 2014 no curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Câmpus de Rio Paranaíba - MG, obtendo o título de Engenheira Agrônoma em fevereiro de 2019. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico durante os anos de 2016 e 2017 no Grupo de Estudos em Solos e Suas Interfaces com a Agroecologia (GESSIA) sob orientação do Dr. André Mundstock Xavier de Carvalho, gerando trabalhos científicos e participação em eventos acadêmicos-científicos. Durante a graduação ministrou monitorias remunerada e voluntária das disciplinas de Gênese do solo, Pedologia, Geologia básica, Fertilidade do solo e tutoria especial de Bioquímica Fundamental. Em março de 2019 iniciou o Mestrado em Produção Vegetal na mesma Universidade de sua graduação, participando ativamente no laboratório de Solos e Mecanização do Grupo de Mecanização Agrícola e Solos (GESOL) sob orientação do Dr. Alberto Carvalho Filho. No final de 2020, ainda no mestrado, atuou profissionalmente como Assistente Técnica em culturas anuais (soja e milho) e na cultura perene do café no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Em janeiro de 2021 obteve o título de Mestre em Produção Vegetal. Após o término do Mestrado, atuou como Analista de Mercado e Produto na região de Patrocínio - MG antes de ingressar no Doutorado em junho de 2021. O Doutorado em Ciência do Solo foi cursado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” em Jaboticabal, São Paulo, sob orientação do Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani. Ao final do Doutorado tem atuado como Analista Técnica Comercial Sênior pela multinacional Yara Fertilizantes nas regiões do Noroeste Mineiro e Leste Goiano. Em janeiro de 2024 submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

**“Pensei mais um milhão de vezes em parar,
em desistir de mim por não acreditar.
E hoje eu sou o meu melhor motivo pra
comemorar. O ontem passou e o amanhã
ainda não é eu. Tudo o que mudou me
transformou no que hoje sou eu.”**

(Kell Smith)

Dedico aos meus pais e à toda a minha família. Aos meus amigos e profissionais que sempre me deram o suporte necessário para que eu não desistisse! E principalmente aos que estiveram comigo desde o mestrado me mantendo forte, me apoiando e me motivando para que eu me tornasse cada dia melhor. Meu muito obrigada. Sem vocês nada disso se concretizaria.

AGRADECIMENTOS

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

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 A cultura da cenoura.....	14
2.2 Aspectos de cultivo.....	21
I. Semeadura e solo	21
II. Condições de temperatura e germinação	24
III. Manejo da irrigação.....	28
IV. Adubação.....	29
V. Plantas daninhas.....	33
VI. Doenças e pragas	35
2.3 Cenoura e seus componentes para a nutrição humana	38
2.4 Cenoura além da alimentação humana	42
I. Protetor solar	42
II. Ração bovina.....	43
III. Biodiesel	43
IV. Corante	43
V. Revestimento	43
VI. Cosméticos.....	44
2.5 Qualidade da cenoura	44
2.6 Segurança alimentar e meio ambiente.....	47
2.7 Aspectos da Colheita	51
2.7.1 Padronização das raízes	51
2.7.2 Colheita manual	52
2.7.3 Colheita mecanizada	54
i. Regulagens da colhedora de cenoura.....	58
ii. Danos nas raízes provocados pela colheita mecanizada mal regulada	59

iii.	Perda de solo na colheita	60
iv.	Colheita e inteligência artificial	60
v.	Operação de colheita e a qualidade final do produto cenoura.....	62
2.8	Monitoramento das características de produtividade e qualidade da cenoura via sensoramento e inteligencia artificial	63
2.9	Considerações finais da revisão	65
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	66
3.1	Área de estudo e sistema de produção	66
3.2	Amostragem das raízes e avaliação biométrica da produtividade.....	68
3.3	Análise qualitativa das raízes.....	70
3.4	Aquisição e processamento das imagens de satélite.....	70
3.5	Análise de componentes principais (PCA)	72
3.6	Modelagem da cenoura	72
4	RESULTADOS.....	74
4.1	Normalidade dos dados de produtividade da cultura	74
4.2	Qualidade das raízes	74
4.3	Correlação entre as variáveis.....	76
4.4	ANN – Multilayer perceptron regressor	77
4.6	RLM – Regressão linear múltipla	78
4.7	Comparação do desempenho dos modelos.....	79
5	DISCUSSÕES.....	80
5.1	Correlação das variáveis.....	80
5.2	Modelagem da produtividade	81
5.3	Modelagem da produtividade	82
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
7	REFERÊNCIAS.....	84
	Apêndice	109

PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CENOURA UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA

RESUMO

A cenoura (*Daucus carota* L.) destaca-se entre os principais vegetais cultivados globalmente. A implementação de sistemas agrícolas baseados em inteligência artificial podem os tornar mais eficientes e sustentáveis nas diferentes esferas da produção. No contexto dessa abordagem, o híbrido EX 4098 de cenoura foi testado em dois experimentos durante a safra de verão em Rio Paranaíba /MG, visando otimizar a produção e impulsionar a agricultura sustentável. Com o objetivo de prever a produtividade e a qualidade da cultura, foram realizadas amostragens das raízes em 200 pontos de 0,25 m² com grade amostral de 30 m x 30 m, em duas épocas de coleta (82 e 116 dias após semeadura) em ambos os experimentos. Para a produtividade quantificou-se a biomassa fresca total, parte aérea e raiz e biometria das raízes (comprimento e diâmetro). A qualidade das raízes foi avaliada na subamostragem de três cenouras pela concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) e firmeza. Os índices de vegetação NDVI, RDVI, EVI e SAVI foram extraídos da PlanetScope CubeSat. Os parâmetros mais importantes verificados na análise dos componentes principais foram submetidos aos algoritmos *artificial neural network* (ANN), *random forest* (RF) e *regressão linear múltipla* (RLM) para a modelagem da cultura. Para a estimativa de produtividade, o modelo ANN foi superior à RF e ao RLM, respectivamente. Os índices SAVI e NDVI destacaram-se como indicadores significativos para prever a produtividade da cultura. No entanto, é importante esses algoritmos não foram capazes de modelar a qualidade da cenoura. Sugere-se que estudos futuros explorem o potencial preditivo dos parâmetros °Brix e Firmeza para avaliar e aprimorar a qualidade da cenoura.

Palavras-chaves: Solo, Mapeamento, Qualidade, Índice de vegetação.

PREDICTING CARROT YIELD AND QUALITY USING MACHINE LEARNING

ABSTRACT

Carrot (*Daucus carota* L.) stands out among the main globally cultivated vegetables. The implementation of artificial intelligence-based agricultural systems can make them more efficient and sustainable across different spheres of production. In the context of this approach, the carrot hybrid EX 4098 was tested in two experiments during the summer crop in Rio Paranaíba/MG, aiming to optimize production and boost sustainable agriculture. In order to predict crop productivity and quality, root samples were taken at 200 points of 0.25 m² with a sampling grid of 30 m x 30 m, at two collection times (82 and 116 days after sowing) in both experiments. For productivity, total fresh biomass, aboveground and root biomass, and root biometrics (length and diameter) were quantified. Root quality was assessed by sub-sampling three carrots for total soluble solids concentration (°Brix) and firmness. NDVI, RDVI, EVI, and SAVI vegetation indices were extracted from the PlanetScope CubeSat. The most important parameters verified in the principal component analysis were subjected to artificial neural network (ANN), random forest (RF), and multiple linear regression (MLR) algorithms for crop modeling. For productivity estimation, the ANN model outperformed RF and MLR, respectively. SAVI and NDVI indices stood out as significant indicators for predicting crop productivity. However, it is important to note that these algorithms were unable to model carrot quality. It is suggested that future studies explore the predictive potential of °Brix and firmness parameters to assess and improve carrot quality.

Keywords: Soil, Mapping, Quality, Vegetation index.

1 INTRODUÇÃO

A produção de cenouras apresenta desafios complexos, que vão desde a otimização da qualidade das raízes até a previsão da produtividade. A cenoura é uma hortaliça geocárpica, crescendo subterraneamente, o que dificulta a avaliação direta de sua parte desejada, as raízes. Fatores como variação genética, condições ambientais e práticas de cultivo influenciam a qualidade das cenouras, tornando essencial a busca por abordagens inovadoras na tomada de decisões.

A qualidade da cenoura de mesa é fortemente influenciada por características visuais, como uniformidade de tamanho e formato, além de sabor, aspectos fundamentais para sua valorização no mercado e preferência dos consumidores. Nesse contexto, variáveis como °Brix (sólidos solúveis totais) e firmeza tornam-se críticas, mas a modelagem preditiva desses parâmetros ainda é uma lacuna a ser preenchida. A integração de tecnologias como sensoriamento remoto (SR) como a coleta de dados via imagens de satélite e inteligência artificial (IA) emerge como uma solução promissora para superar os desafios específicos da cenoura, possibilitando uma avaliação mais completa.

A utilização de ferramentas de monitoramento para acompanhar as características de produtividade e qualidade da cenoura é essencial para embasar decisões no campo. Ao investigar a variação dessas características, é possível delimitar unidades de gestão diferenciadas (UGDs) e identificar locais com maior potencial produtivo da cultura, adaptando-se aos diferentes usos. Esses locais de maior potencial produtivo podem otimizar o uso de recursos, como adubação, defensivos agrícolas, densidade de plantio e época de semeadura. Áreas identificadas com produção de cenouras com teores mais elevados de açúcares podem ser destinadas à produção de energia ou receber maior valorização no mercado consumidor. Além disso, a capacidade de prever a produtividade e qualidade da cenoura antes da colheita abre oportunidades para negociações futuras.

Neste contexto, o presente estudo visa estabelecer relações funcionais entre diversas variáveis, como a massa fresca total, a massa da parte aérea e da raiz, o comprimento, diâmetro, °Brix e firmeza das raízes, integrando-os com índices de vegetação e inteligência artificial. A ausência de pesquisas que explorem de maneira simultânea a produtividade e a qualidade das raízes de cenoura destaca a importância desta abordagem, proporcionando insights valiosos aos produtores e contribuindo para avanços significativos na produção sustentável da cultura. A tese inclui uma revisão de

literatura aprofundada sobre o tema, fornecendo uma base sólida para a análise dos resultados obtidos no experimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cenoura

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma hortaliça de grande importância mundial e possui ampla aplicação devido à sua alta qualidade e quantidade de nutrientes (Basso et al., 2021; Papoutsis e Edelenbos, 2021). Ela é diploide e pertence à família Apiaceae que inclui cerca de 3820 espécies em 466 gêneros (Plunkett et al., 2018). As plantas dessa família possuem alta adaptabilidade a diferentes condições e altitudes. Trata-se de uma olerícola geocárpica, ou seja, se estabelece subterraneamente. É rica em substâncias biologicamente ativas, incluindo vitaminas, antocianinas e carotenoides. Tais compostos possuem capacidades antioxidante, antitumoral, anti-hipertensiva e outras características benéficas para a saúde do ser humano (Kamel et al., 2023). A raiz da cenoura é transversal, sendo cultivada principalmente em regiões úmidas e climas áridos tropicais (0° a 23,5°), temperadas (latitude 40° a 60°), regiões de clima subtropical (latitudes 23,5° a 40°) e em climas frios do Norte (latitude 60° a 90°) (Simon e Grzebelus, 2020). Entretanto, são predominantes nas regiões da América do Norte e nos trópicos.

O clima induz a cenoura a ter diferentes respostas que direcionam seus recursos fisiológicos tanto para a produção de raiz quanto para a produção de sementes. A exposição à temperatura fria (inferiores a 10°C), chamada de vernalização, estimula a planta a iniciar sua floração (Simon et al., 2008). Também, a exposição das plantas a dias com fotoperíodos longos em fases iniciais de alongamento da parte aérea pode acelerar a floração (Linke et al., 2019). As cenouras são espécies alógamas e polinizada por insetos. Em campos de produção de sementes comerciais, a cultura é polinizada por abelhas (Rubatzky et al., 1999). Na inflorescência, as flores são perfeitas e não possuem autoincompatibilidade (Figura 1)

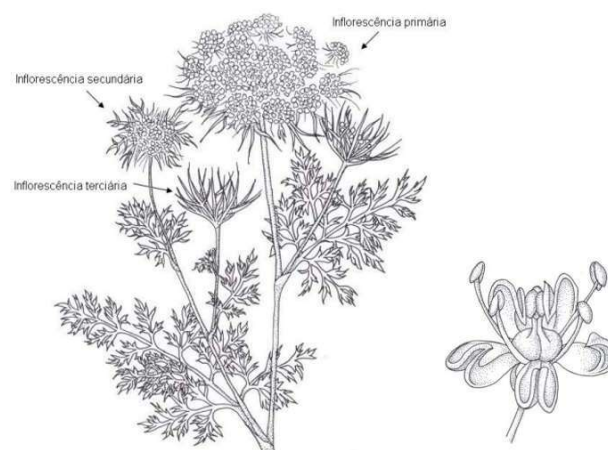


Figura 1. Hastes florais (A) e flor (B) da cenoura (*Daucus carota* L.). Fonte: Ilustração de Iganci, J. R. V. In: Fisher (2006).

No mundo todo, a produção de cenoura em 2018 foi de quase 40 milhões de toneladas em uma área de cultivo de 1,1 milhões de hectares, com produtividade média de $28,5 \text{ t.ha}^{-1}$ (Faostat, 2020; Keutgen et al., 2022). Atualmente essa produção tende a ser maior com a expansão agrícola do cultivo desta raiz. Os principais produtores são a China (21.483 kt), o Uzbequistão (2770 kt), os Estados Unidos (2259 kt) e a Federação Russa (1559 kt) (Keutgen et al., 2022).

O Brasil é um dos cinco principais produtores de hortaliças, produzindo mais de 700 mil toneladas por ano (IBGE, 2017). Dentre as regiões de destaque na produção de cenoura, mencionam-se São Gotardo-MG, microrregião de Irecê-BA, Cristalina-GO, Marilândia do Sul-PR e Caxias do Sul-RS, que totalizam cerca de 16 mil hectares de área cultivada, segundo o Anuário Brasileiro de Hortaliças (2017). É relevante ressaltar que aproximadamente metade da produção nacional de cenoura concentra-se em São Gotardo-MG, uma região caracterizada pelo emprego de alta tecnologia agrícola, alcançando uma produtividade média de 70 toneladas por hectare, conforme evidenciado por Carvalho et al. (2021). Além disso, essa região beneficia-se de uma infraestrutura logística sólida, facilitando o processamento e a distribuição do produto para todo o território nacional.

A produção de cenoura é destinada comercialmente para fins alimentícios e como matéria prima para o setor industrial. Os fatores genéticos das cultivares, a estádios de crescimento, as condições ambientais no crescimento e armazenamento das cenouras e o manejo interferem na qualidade das raízes (Wszelaczyńska et al., 2019). Dentre os

fatores associados à qualidade, em ordem decrescente de importância, estão a cultivar, as condições ambientais e as práticas de cultivo (Geofriau, 2020). Estes fatores interagem entre si e a otimização da produtividade e a qualidade das raízes são indispensáveis.

A qualidade da cenoura de mesa (in natura), foco deste estudo, é uma característica ainda mais exigida para o consumo humano. Os aspectos visuais de uniformidade de tamanho e formato, além do sabor, definem a valorização no mercado e preferência dos consumidores. Existem inúmeras formas de se avaliar a qualidade geral das raízes: sabor e textura para consumo de mesa; classes de tamanho e ausência de defeito para comercialização em nicho de mercado; quantidade de açúcares fermentáveis para maior rendimento na produção de energia, dentre outros.

O conteúdo de sólidos solúveis totais (°Brix) e a firmeza estão diretamente relacionados à qualidade da cenoura para o setor alimentício. O °Brix, é uma medida da quantidade de açúcares e outros sólidos solúveis presentes em um líquido, como sucos de frutas, xaropes e outros produtos. No contexto de frutas e vegetais, o Brix é frequentemente usado como um indicador da doçura, é avaliado pela leitura direta do alimento triturado quantificando a quantidade de açúcares livres em sua composição. Já a firmeza é medida pela resistência do alimento à penetração de equipamento específico, inferindo sobre a crocância do alimento ao ser consumido fresco. Estas características compõem fatores essenciais de aparência, sabor e textura que indicam a frescura e maturação do produto, determinando a reação do consumidor ao ingerir o alimento (Hossain et al., 2020).

Para o consumidor, o sabor é uma característica marcante que influencia diretamente na compra. Sabor, brix e textura em conjunto são variáveis organolépticas para a apreciação durante o consumo. Mpemba et al. (2022) avaliaram o teor de sólidos solúveis de cenouras frescas com refratômetro, obtendo valores de °Brix de 9,33 e firmeza de 23,58 N. A temperatura interfere na doçura das raízes de cenoura. Temperaturas mais frias (9°C) aumentam o teor de glicose e frutose, enquanto temperaturas normais (21°C) favorecem acúmulo de sacarose e caroteno (Chevalier et al., 2022). As pequenas modificações na composição bioquímica das plantas, muito ligada à fisiologia vegetal, permitem avaliar a cultura de forma rápida e não destrutiva em relação ao seu estado fisiológico. No germoplasma de cenoura, o total de açúcar varia mais de dez vezes (Baranski et al., 2011) e os terpenoides são controlados geneticamente por 30 *quantitative trait loci* (Locos de Características Quantitativas - QTLs) (Simon e Grzebelus,

2020). O conteúdo de açúcares afeta o brix e os terpenoides voláteis afetam o sabor (Buttery et al., 1968). Cenouras mais doces e saborosas são as mais preferidas pelos consumidores.

As cenouras possuem variedades com formas e cores diferentes. As mais produzidas mundialmente são as cenouras laranjas, incluindo cultivares como Nantes, Chantenay, Imperial, Danvers e Little Fingers (Örnek e Örnek, 2021). Entretanto, variedades de outras cores podem ser encontradas, incluindo a vermelha, preta e roxa. Antes do ano 1600, a cor já era utilizada para discriminar as cultivares, sendo as cores amarelas e púrpuras notadas primeiramente no Afeganistão e, posteriormente, na Pérsia e Arábia do Norte (Banga, 1963).

A cultivar Nantes é a principal escolha para consumo "in natura" em todo o mundo devido às suas características específicas. Com seu formato curto e ponta arredondada, além da textura crocante e sabor adocicado, esta variedade é altamente apreciada pelos consumidores. Por outro lado, as cenouras do tipo Danvers são mais frequentemente direcionadas para processamento, sendo fatiadas ou cortadas em cubos devido às suas propriedades adequadas para esse fim. As Chantenay, embora sejam cenouras maiores, têm uma estatura curta, o que as torna mais populares entre os cultivadores de hortas, embora não sejam amplamente cultivadas comercialmente em grande escala. Já as cenouras Imperador são cultivadas extensivamente na América do Norte, caracterizando-se por sua forma longa e fina, tornando-as ideais para diversos usos, desde o consumo direto até o processamento industrial. É importante notar que, para a produção de cenouras baby, é comum o uso da variedade Imperator, conforme observado por Nunez (2020).

No Brasil os principais grupos de cenouras disponíveis para os cultivos são a Brasília (verão), Nantes (inverno) e Kuroda (Carvalho et al., 2021) (Tabela 1).

Tabela 1. Principais cultivares plantadas no Brasil.

Grupo	Coloração	Formato	Ciclo (dias)	Características
Brasília	Laranja	Cilíndrico	85 a 100	Tolerante a <i>Meloidogyne incognita</i>
Nantes	Laranja intensa	Cilíndrico	110 a 130	Alta produtividade e qualidade (semeadura outono ou inverno).
Kuroda	Laranja intensa	Cônico	100-120	Ótimo enfolhamento e tolerância à <i>Alternaria dauci</i>

Na região de São Gotardo-MG, conhecida como a capital da cenoura, são plantadas cultivares híbridas como a EX4098, a Maestro F1 (Nantes para cultivo de inverno) e Verano (cultivo de verão). Todas estas cultivares atendem ao mercado consumidor e à indústria, sendo distribuída a produção em toda a extensão territorial do país.

A diferenciação das variedades de cenoura está de acordo com a formato das raízes, tendo cerca de 10 a 15 formas distintas mais conhecidas. Cenouras amarelas e brancas, historicamente, foram domesticadas para a alimentação humana (Rubatzky et al., 1999). Um grupo de genes é herdado em conjunto e está fortemente ligado aos cromossomos 1, que confere o diâmetro e comprimento de raiz, e 2, que confere diâmetro, comprimento de raiz e biomassa (Turner et al., 2018). Normalmente, as cultivares de raízes maiores são destinadas para o processamento e as menores para o mercado de consumo “in natura” (Simon e Grzebelus, 2020) (Figura 2)

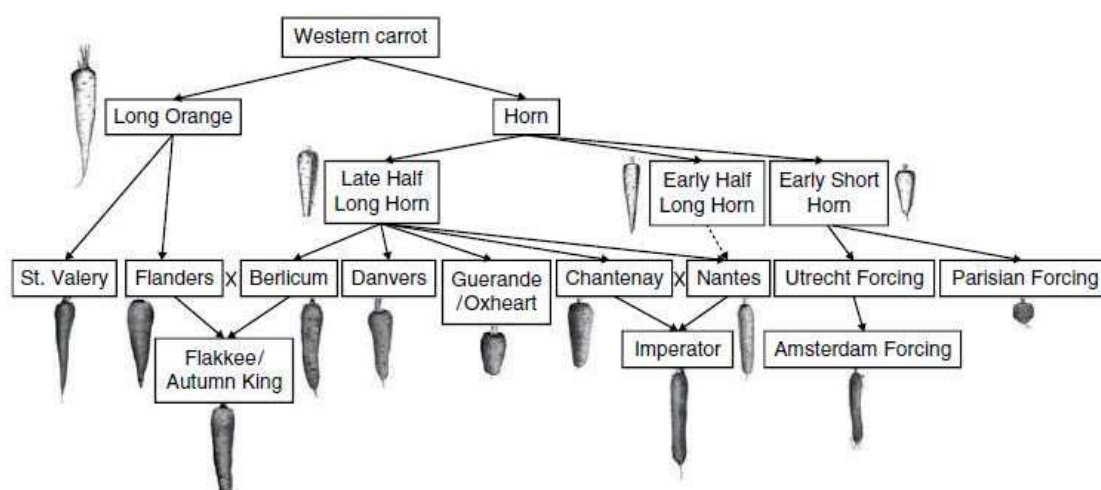


Figura 2. Nomes, formatos e origens dos diversos tipos de cenoura. Fonte: Simon; rzebelus (2020).

Embora os registros da história da cenoura sejam relativamente recentes, sua origem é descrita no Mediterrâneo e foi primeiramente presenciada na Europa e Ásia Central, provavelmente na região do Afeganistão (Vavilov, 1926). Textos do século I e II a. C. já incluíam relatos e ilustrações da cenoura (Stolarczyk e Janick, 2011). De acordo com Small (1978), a cenoura cultivada pode ser dividida entre grupos ocidentais e orientais, que já foram confirmados por marcadores moleculares (Clotault et al., 2010; Baranski et al., 2012; Grzebelus et al., 2014; Iorizzo et al., 2016).. Esta subdivisão é relacionada a dois eventos migratórios que ocorreram a partir da domesticação da cenoura (Laufer, 1919;

Mackevic, 1929; Banga, 1957).

O sabor, desde os primórdios da história escrita, desempenha um papel singular na percepção das cenouras. Relatos históricos sugerem que, no passado, as cenouras amarelas eram consideradas menos saborosas em comparação com as variedades roxas da Pérsia e Ásia (Clement-Mullet, 1866). A importância da cor na domesticação da cenoura é evidente, sendo um fator que influencia diretamente sua qualidade nutricional, graças aos pigmentos presentes na raiz (Arscott e Tanumihardjo, 2010). O conteúdo de carotenoides, pigmentos que conferem a cor à cenoura e são amplamente estudados, é controlado por vários genes (Simon et al., 2019). Os genes estruturais relacionados à biossíntese de carotenoides têm sido alvo de caracterização e investigação quanto ao seu regulamento (Simon et al., 2019). Estudos de Iorizzo et al. (2016) e Bannoud et al. (2019) indicam que o gene DcMYB7, juntamente com outros dois genes MYB (DcMYB6 e DcMYB11), desempenham um papel crucial na acumulação de antocianina, outro tipo de pigmento, variando de acordo com a genética ou especificidade dos tecidos. Assim, a complexa interação entre sabor, cor e componentes genéticos destaca-se como uma faceta fascinante na evolução e caracterização das cenouras ao longo do tempo.

O ciclo fenológico da cenoura gira em torno de 85 a 120 dias, da semeadura até a colheita, dependendo do clima do local de cultivo, tipo de cultivar e época de semeadura. A formação da raiz é basicamente regida de duas etapas. Os primeiros órgãos a se desenvolverem rapidamente após a germinação são as folhas, atingindo altura de 0,13 a 0,18 m (Phan e Hsu, 1873). Após a germinação lenta da semente, a raiz se desenvolve em profundidade até por volta dos 45 dias após semeadura, junto ao crescimento da parte aérea no primeiro momento. Durante o crescimento das folhas, a raiz da cenoura somente cresce em profundidade enquanto o seu diâmetro para armazenamento de compostos de reserva praticamente se mantém estável. No segundo momento, a cenoura cresce radialmente aumentando seu diâmetro, ocorrendo o acúmulo de fotossimilados de reserva que são os principais ingredientes de interesse de uma colheita qualitativa e quantitativa.

Tecnicamente, a formação da estrutura secundária da raiz de armazenamento (crescimento radial) começa pela atividade do meristema entre o xilema primário e o floema. Uma bainha cambial preenche os tecidos em torno do xilema central primário, produzindo floema para o exterior e xilema para o interior (Esau, 1940). Um tecido secundário na zona do floema é coberto por periderme que protege a raiz. A partir do pleno desenvolvimento das folhas, o crescimento da raiz da cenoura acelera em detrimento do

sistema foliar (Villeneuve, 2020) (Figura 3).

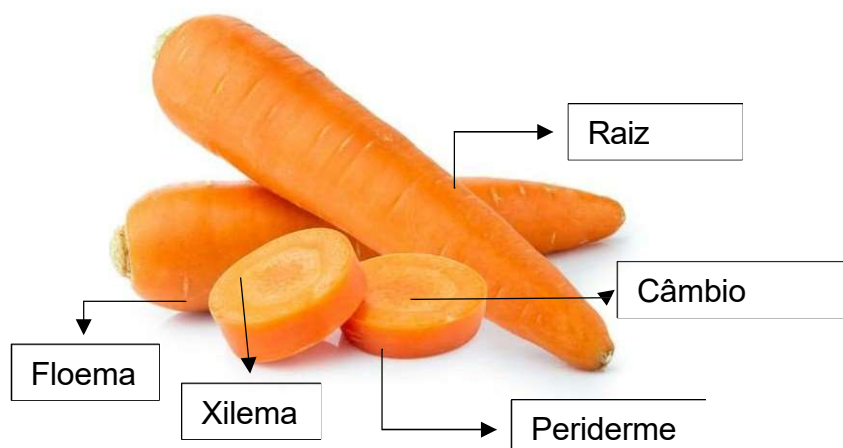


Figura 3. Anatomia da cenoura. Fonte: A autora adaptado (2023).

O crescimento em diâmetro da raiz é chamado de maturidade bioquímica (Villeneuve, 2020). Este crescimento depende da presença das folhas para o acúmulo de fotossimilados no processo fotossintético e estas podem senescer em temperaturas abaixo de 3°C (Suojala, 1999). Modelos de crescimento têm sido estudados para investigar a partição da matéria seca entre raiz e folha para explorar a possibilidade de adaptação às alterações climáticas e condições adversas (Benjamin e Sutherland, 1992; Reid, 2019).

Os recursos genéticos da cenoura (variedades selvagens) estão disponíveis em coleções espalhadas por todo o mundo em 7116 adesões de 28 espécies em 77 germoplasmas de 49 países (FAO, 2019). A conservação das sementes da cenoura é fácil por ser uma semente ortodoxa e pequena (500 a 700 sementes.g⁻¹) (Geoffriau, 2020). As sementes não tratadas podem ser conservadas e armazenadas por cerca de 20 anos em condições de 4°C e 35% de umidade relativa ou através de congelamento após reduzir o teor de água. A germinação de sementes selvagens é mais problemática por conter dormência e sensibilidade a processos mecânicos de limpeza (Geoffriau, 2020).

A agricultura extensiva objetiva a produção de raízes comercializáveis para diversos fins: gêneros alimentícios e diferentes tipos de produtos no setor da indústria. Para isso, alguns requisitos são desejáveis no cultivo da cenoura. Para a maximização da produtividade, a uniformidade da lavoura é essencial. A uniformidade fenotípica é buscada para a valorização do produto no mercado consumidor. Da mesma forma, para a indústria

é viável que se tenha um padrão da produção que é entregue para que os todos os processos sejam conduzidos e se obtenha a matéria prima pretendida para a fabricação de produtos. A produção comercial de cenouras híbridas proporciona tais requisitos de uniformidade e vigor das raízes (Rubatzky et al., 1999; Simon et al., 2008). Entretanto, o desenvolvimento de híbridos superiores requer testes extensivos em campo para identificar a combinação de híbridos que possuem características desejáveis. O desenvolvimento de híbridos de cenoura é um grande desafio da produção na atualidade (Simon e Grzebelus, 2020). Isso se torna ainda mais expressivo frente às novas tecnologias, evolução dos recursos agrícolas, mudanças climáticas e alteração no padrão de vida e consumo da sociedade.

2.2 Aspectos de cultivo

I. Semeadura e solo

As espécies da família *Apiaceae* possuem em geral melhor desempenho em solos bem drenados e aerados, com alto teor de matéria orgânica e textura média (friável) (Spurr e Lucas, 2020). Para a produção de cenoura o pH ideal do solo é em média 6,5 porque esta espécie tem baixa tolerância a acidez e salinidade, tendo redução de crescimento de 7% para cada incremento de 10 mM ou 1,0 dS.m⁻¹ de salinidade acima de 20 mM (Gibberd et al., 2002; Nunez, 2020). Em alta salinidade, a troca gasosa foliar das cenouras reduz e, em consequência, a capacidade fotossintética fica prejudicada (Gibberd et al., 2002).

Em cultivos extensivos, a semeadura é realizada mecanicamente para distribuir uniformemente as minúsculas sementes em canteiro elevados. Os canteiros podem ter dimensão de 0,76 a 1,80 m e altura de aproximadamente 0,3 m (Nunez, 2020; Carvalho et al., 2021). Dyśko e Kaniszewski (2007) observaram que não há diferença em terrenos planos e encanteirados no teor de matéria seca da cenoura; porém, em canteiros houve redução no conteúdo de nitrogênio na raiz.

A cenoura é uma cultura de alto valor econômico e seu manejo deve ser minuciosamente planejado. Por isso, o rendimento individual de cada planta é extremamente importante e levado em consideração desde a semeadura até a colheita. A densidade de plantas tem efeito significativo na arquitetura do dossel (Spurr e Lucas, 2020) e determina o espaço livre para o desenvolvimento de cada raiz de cenoura.

Em geral, para a produção de raiz para consumo “in natura”, a semeadura é feita normalmente em linhas duplas com espaçamento interno de 0,07 a 0,10 m e espaçamento

entre linhas duplas de 0,12 a 0,15 m. O espaçamento entre plantas é de 0,04 a 0,07 m (Figura 4).



Figura 4. Arranjo de semeadura de cenoura. No detalhe uma cenoura aos 30 dias após a semeadura. Fonte: A autora (2021).

A densidade de semeadura e a configuração das linhas, que podem ser simples, duplas ou triplas, exercem influência na altura da folhagem e na redução da acumulação de biomassa na raiz, como destacado por Bleasdale (1967) e Benjamin e Sutherland (1992). Para otimizar o desenvolvimento das plantas, é recomendado que as sementes sejam implantadas a profundidades entre 0,01 e 0,02 metros, visando uma melhor utilização da umidade do solo e evitando os efeitos adversos das variações de temperatura e disponibilidade de água na superfície do solo.

O ajuste fino do espaçamento para cada tipo de cultivar e objetivo de cultivo permite explorar ao máximo o potencial genético para uma alta produtividade de qualidade. Analisar o espaçamento ideal para cultivares de cenoura garante o desenvolvimento de raízes com qualidade comercial satisfatória, disponibilizando um produto mais saudável ao consumidor (Basso et al., 2021). Dessa forma, a depender do tipo de uso da produção da cenoura (processamento, fatias, produto “in natura” ou cenoura *baby*), a população final de plantas pode variar entre 445 mil até 4,7 milhões por hectare. Para o cultivo de cenoura de mesa o estande final, sem desbaste, fica entre 700 a 800 mil plantas por

hectare (Carvalho et al., 2021).

Na operação de semeadura trabalha-se sempre com um número maior de sementes que acaba resultando em um estande final maior do que o ideal. Isso é comum para a cultura da cenoura, passando pelo raleio ou desbaste após 25 a 35 DAS antes da primeira adubação. Essa operação consiste no arranque manual das plântulas para ajustar o estande desejado. O rendimento da operação é dependente do treinamento do trabalhador. Estima-se que um trabalhador bem treinado possa realizar o desbaste em 1000 m lineares (canteiros de 1,5 m de largura) em apenas um dia de serviço (Carvalho et al., 2021).

O manejo do solo as áreas de cultivo de cenoura devem ser bem preparados para atingir uma profundidade de 30 a 35 cm e incorporar os resíduos das culturas anteriores. Como a maioria das agentes patogênicos que acometem a cenoura podem sobreviver por um longo tempo, a rotação de culturas num período de 3 a 5 anos é aconselhável. Para a produção de cenouras biológicas esse período deve ser estendido além dos 5 anos (Nunez, 2020). A cenoura possui alta responsividade às melhorias na estrutura do solo aliada ao incremento de matéria orgânica (Carvalho et al., 2021).

Diversas técnicas agronômicas podem ser utilizadas nas áreas de cultivo de cenoura: pousio com cultivo de plantas de cobertura; manejo da palhada e rotação de espécies de cobertura etc. Estas técnicas ajudam na estruturação da qualidade física do solo. As diferentes espécies cultivadas na entressafra, com diferentes sistemas radiculares e capacidades de produção de biomassa, constroem bioporos do solo, suprimem os inóculos de pragas e doenças e aumentam a matéria orgânica. Além disso, algumas espécies de plantas de cobertura podem ser exploradas economicamente, agregando financeiramente ao sistema de produção.

Os cuidados com as condições físicas do solo são essenciais porque a cenoura é uma cultura subterrânea e, portanto, desenvolve sua parte de importância comercial abaixo do solo. A estrutura do solo interfere na germinação das sementes e na forma com que as raízes irão crescer em profundidade e espessura. Apenas o encontro da raiz com agregados de solo desuniformes pelo mal preparo já é suficiente para deformá-la consideravelmente.

O mercado de cenoura focado principalmente no consumo “in natura” é muito exigente. Cenoura malformadas, bifurcadas, rachadas ou com quaisquer danos provocados pelas características estruturais do solo no decorrer do desenvolvimento ou

por outros fatos externos (ataque de pragas e doenças) pode comprometer a comercialização da cenoura. Em muitos casos, ainda nas fazendas produtoras, as cenouras com tais aspectos são descartadas e nem chegam ao mercado. É importante salientar que mesmo as cenouras deformadas sejam visualmente impróprias ao comércio, estas cenouras não possuem diferença significativa em seu valor nutricional, nem são nocivas à saúde humana. Nenhum trabalho constatou que cenouras malformadas são menos nutritivas do que cenouras com aspectos visuais normais.

Apesar disso, a estrutura do solo fortemente afetada gera a compactação. Esta pode definitivamente afetar não só no formato das raízes, mas também interfere na absorção de nutrientes. Dessa forma, ela pode provocar diferenças reais nos teores de sais minerais, vitaminas e outros compostos benéficos para a saúde dos consumidores. Pietola e Salo (2000) afirmaram que o tipo de solo e seu estado físico influencia significativamente mais sobre a absorção de potássio, fósforo e magnésio pelas raízes da cenoura do que as condições climáticas.

A qualidade do preparo de solo para cultivo cenoura tem efeito direto na produção quantitativa e qualitativa desta planta. Evers et al. (1997) demonstraram que em um solo bem-preparado e friável as cenouras conseguem produzir mais glicose e frutose mesmo em alta densidade de plantas. Entretanto, em baixa densidade as plantas produzem mais β -caroteno. Estes mesmos autores também identificaram que existem diferenças na produção de fibras e vitamina C em condições de largura do canteiro.

II. Condições de temperatura e germinação

A temperatura é um fator de enorme importância desde a germinação até a qualidade de raízes da cenoura no momento da colheita e comercialização. É uma espécie adaptada a temperaturas amenas. A temperatura ideal média para a cultura é de 25°C. Boa parte das cenouras plantadas no Brasil são cultivadas em temperaturas que vão de 15 a 20°C para que tenham bom desenvolvimento (Basso et al., 2021). Em todo o mundo, as cenouras podem ser cultivadas comercialmente numa faixa ampla de 13 a 35°C (Nunez, 2020). Entretanto, a partir de 35°C as

plântulas jovens podem ser injuriadas termicamente e mortas pela condição de alta temperatura. Por outro lado, geadas também podem causar rachaduras nas raízes e as tornarem malformadas ou bifurcadas (Nunez, 2020).

A previsão da data de emergência das plântulas de cenoura é importante para que

se possa programar os manejos na cultura como a utilização de herbicidas não seletivos aplicados na pré-emergência da cenoura. A germinação das sementes pode ocorrer na faixa de 3 a 40°C. Para obter 50% de germinação é necessário o somatório de 130 graus-dia, em caso de não haver limitação no potencial hídrico (umidade). Rowse e Finch-Savage (2003) relataram que uma modelagem mais detalhada leva em consideração a temperatura e potencial hídrico conjuntamente. Em baixas temperaturas há a redução da porcentagem de germinação e prolongamento do tempo de emergência das plântulas. Em temperaturas superiores a 25°C, entre 32 e 35°C, a germinação é cessada. Assim que esta temperatura volta a diminuir, o processo germinativo volta ao normal, porém ocorre a heterogeneidade de emergência das plântulas, acarretando diferenças no tamanho das raízes, o que não é ideal.

Um lote comprometido resulta em uma germinação final variável, diferença de vigor e crescimento heterogêneo das plântulas. Villeneuve (2020) listou os principais fatores que influenciam as sementes no momento da germinação além da temperatura:

- 1- Presença de pragas e patógenos como *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* e *Alternaria* spp.
- 2- Oxigenação do solo. Corbineau et al. (1993) descreveu que um período transitório de 1 ou 2 dias de anoxia afeta a germinação e crescimento do hipocótilo;
- 3- Pressão osmótica. A semente é embebida de água para que os processos bioquímicos de germinação possam transcorrer normalmente. Tanto a germinação como o crescimento das plântulas são reduzidos pela umidade do solo num potencial de 0,01 MPa (Maas e Hoffman, 1977).

Apesar desta cultura se desenvolver melhor em temperaturas mais amenas Nascimento et al. (2008) demonstraram que existem cultivares termotolerantes que podem ter boa germinação na temperatura de 35°C, relacionado com a produção de

etileno. Temperaturas de 10 a 15°C favorecem a alongamento das raízes e em temperaturas acima de 21°C as raízes se formam mais curtas e conseqüentemente menos produtivas (Vieira et al., 1999). Porém, com o melhoramento genético e produção de cenouras híbridas novas cultivares são desenvolvidas para serem plantadas nos diversos ambientes de cultivo. A hibridação de cenouras confere melhores desempenhos das plantas e conseqüentemente maiores produtividades. Sementes híbridas são mais procuradas devido a sua uniformidade de crescimento, produção no campo e maior vigor, apesar da onerosidade que envolve o desenvolvimento destas sementes (Spurr e Lucas,

2020). Os estudos mais recentes de Colombari et al. (2018) e Saha et al (2016) demonstraram que altas produtividades são obtidas em condições de temperatura média de 18°C, enquanto as plantas reduziram sua produtividade e qualidade de raízes comercializáveis quando cultivadas acima de 25°C.

Em relação a sensibilidade à geada, a cenoura pode resistir mais ou menos de acordo com a fase de desenvolvimento em que se encontra e as condições em que a geada ocorre. As plantas jovens resistem mais. No entanto, caso ocorra ciclos de congelamento e descongelamento a duração do período de resistência à geada pode diminuir (Villeneuve, 2020).

Durante o período de crescimento das raízes, principalmente na fase de crescimento radial, a quantidade total de açúcar solúvel aumenta gradualmente. Essa característica define o sabor e o grau brix da cenoura. O teor de açúcares redutores (glicose e frutose) diminui enquanto a sacarose se acumula rapidamente até atingir cerca de 5,5% do peso fresco nas cenouras da cultivares Nantes por exemplo (Le Dily et al., 1994). A partir desses aspectos é possível traçar o melhor momento da colheita afim de colher as raízes na época. Assim, os aspectos de sabor, brix e cor estarão no ápice. O acúmulo de compostos sensorialmente desejáveis relacionados a estas características estarão plenamente acumulados nas raízes, aumentando o valor nutricional e comercial da cultura.

A semeadura da cenoura é amplamente realizada em canteiros, o que proporciona uma drenagem eficaz da água. É fundamental que a parte superior do canteiro onde as sementes serão colocadas esteja lisa e livre de torrões ou outros detritos, uma vez que esses agregados irregulares podem prejudicar a germinação e causar deformações nas raízes, o que é irreversível. Devido ao tamanho reduzido das sementes, uma distribuição cuidadosa nos canteiros possibilita a formação perfeita das raízes de cenoura (Figura 5).



Figura 5. Canteiros de cenouras semeados mecanicamente. No detalhe, uma cenoura malformada. Fonte: A autora.

Semeadoras de precisão são usadas para alocar as pequenas sementes de forma homogênea e requerem bom preparo de solo e homogeneidade do campo para uma boa plantabilidade. As sementes de cenoura são raras e representa uma parcela considerável do custo total de produção. Essas semeadoras são interessantes porque reduzem o custo com sementes para aproximadamente $2,5 \text{ Kg.ha}^{-1}$ (Figura 6) (Carvalho et al., 2021).



Figura 6. Semeadura de cenoura em canteiros. Fonte: <https://revistacampoenegocios.com.br/tecnologia-elimina-raleio-e-reduz-custos-da-cenoura/>

Além dos aspectos de germinação e desenvolvimento da planta, a temperatura influencia na ocorrência de pragas e doenças. A temperatura aliada a outros fatores meteorológicos criam microclimas na lavoura que favoráveis para a reprodução, aumento da população e pressão de ataque de insetos praga. Os agentes patogênicos também se desenvolvem mais rapidamente podendo assim causar doenças que são preocupação

chave no cultivo da cenoura. Não diferentemente, as plantas daninhas quando encontram alta radiação solar e alta disponibilidade hídrica crescem mais e competem mais fortemente com as plantas domesticadas (cultivares de cenoura), reprimindo recursos essenciais: luz, água e nutrientes. Em alta pressão de plantas daninhas, os custos de produção aumentam porque em muitos casos há a necessidade de controle manual. O controle manual é muito frequente na região de São Gotardo-MG. Nessa região, há muita oferta mão-de-obra, além dos produtores não pouparem investimentos para o manejo da cultura da cenoura.

Pragas, doenças e plantas daninhas limitam drasticamente a produtividade da cenoura em cultivares suscetíveis. Na colheita, alta temperatura e umidade são fatores que aumentam o aparecimento de podridões das raízes, reduzindo a vida de prateleiras no comércio.

III. Manejo da irrigação

A cultura da cenoura é exigente em água. Durante todo o ciclo da planta (100 a 130 dias) estima-se um consumo de 400 a 600 mm de água (Carvalho et al., 2021). A produtividade da cultura responde linearmente com o incremento na irrigação se aplicada em quantidade correta e no momento certo. Em muitas áreas, faz-se a irrigação suplementar a precipitação pluviométrica. A irrigação pode ser feita de diferentes formas: aspersão, localizada e por pivô central. Entretanto, para sistemas altamente tecnificados, o pivô central automatizado é o mais usado.

É importante que, se possível, irrigar entre 24 a 72h após a semeadura na fase inicial da germinação. A primeira irrigação é essencial para que o perfil do solo tenha umidade homogênea e suficiente para possibilitar que os processos bioquímicos da germinação ocorram e se inicie o desenvolvimento da plântula. A disponibilidade de água no solo, deste período, pode variar na profundidade de 0,06 a 0,12 m, a depender da umidade do solo no momento da semeadura e do tipo de solo (Nunez, 2020).

Em fases posteriores à germinação, a irrigação deve ser feita em turnos de rega diários e constantes para evitar estresse na cultura durante o ciclo. Para o cálculo da lâmina de irrigação é levado em consideração a necessidade hídrica da cultivar, tipo de solo (capacidade de infiltração, retenção e condutividade hidráulica), perdas por evapotranspiração e volume de pluviosidade durante o ciclo. A evapotranspiração média em meses mais secos do ano no Cerrado está na ordem de 6 mm por dia. Carvalho et al.

(2021) indicaram que lâminas de 20 a 25 mm por dia tem sido um turno de rega comum em regiões que cultivam cenoura. Algumas regiões, nas épocas de altas precipitações, a irrigação pode ser interrompida.

O ajuste do espaçamento entre linhas e a população de plantas, as possibilidades de melhorias fitotécnicas na cultura e a irrigação viabilizam a exploração intensiva da cultura da cenoura, resultando em altas produtividades (Carvalho et al., 2021).

IV. Adubação

Para a análise da fertilidade do solo e as intervenções com adubação, é indispensável que amostra de solo e análise química seja realizada. A interpretação da disponibilidade de nutrientes para a cenoura requer boa representatividade da amostra e um laboratório de confiança que fará as análises de cada elemento. A cenoura é sensível à acidez do solo e exigente em nutrientes. A cultura possui raízes profundas e podem extrair nutrientes em profundidades de 0,6 a 0,9 m (Nunez, 2020). O solo deve ser corrigido para elevar a saturação de base para 60 ou 70%, com teor de magnésio não inferior a 0,8 cmolc.dm⁻³ (Carvalho et al., 2021). Recomenda-se fazer a calagem no mínimo três meses de antecedência à semeadura em observância do tempo necessário para a reação do calcário no solo. O calcário deve ser aplicado e incorporado na operação de preparo de solo e no momento do encanteiramento para o plantio (Figura 7).



Figura 7. Trator com adubadora acoplada na dianteira e encanteirador na traseira. Fonte: Carvalho et al. (2021).

Em sistemas com alta tecnologia, a adubação da cenoura é pesada, chegando a doses médias por hectare de 60 kg de nitrogênio (N), 700 kg de fósforo (P) e 120 kg de potássio (K) (Carvalho et al., 2021). A disponibilização dos nutrientes é essencial para o

crescimento das plantas; entretanto, a falta, o excesso ou desbalanço nutricional prejudica consistentemente a produtividade.

A adubação de N e K é feita parceladamente no plantio e em épocas posteriores que convergem em momentos em que a planta possui maior absorção. A maior parte do N deve ser fornecida em cobertura via adubação após 20 a 40 dias após a emergência das plântulas (Carvalho et al., 2021). Nunez (2020) reportou doses que vão de 100 a 170 Kg.ha⁻¹ em cultivos fora do Brasil. Porém, doses excessivas deste nutriente acima de 170 Kg.ha⁻¹ não aumentam a produtividade e pode causar rachaduras nas raízes no momento da colheita e pós-colheita. Além disso, o N em excesso é desfavorável ao rendimento comercializável porque a planta vegeta mais, ou seja, cresce mais sua parte aérea e investe menos recurso no crescimento da parte de armazenamento (raiz) que é de interesse comercial.

A cenoura responde bem à fertilização nitrogenada, aumentando a produtividade e o teor de matéria seca (Haque et al., 2014). Este elemento impacta no conteúdo de sacarose e carotenoide (Freeman e Harris, 1951; Evers, 1989; Hochmuth et al., 1999). Altos teores de carotenoides são interessantes na cultura da cenoura e dose como 160 Kg.ha⁻¹ de N resulta em nível alto desse composto (Hochmuth et al., 1999). Este efeito é perceptível no β-caroteno e conteúdo total de carotenoides, mas não no α-caroteno (Hochmuth et al., 1999).

Já o K é aplicado no máximo 40% da dose total no plantio, dividindo nas parcelas de cobertura. As características da deficiência de K em cenoura é marcante. As folhas ficam mais velhas precocemente e as bordas dos folíolos ficam arroxeadas, coalescendo com o passar do tempo até que as folhas secam completamente (Carvalho et al., 2021).

Na região de São Gotardo-MG, a adubação segue a agricultura de precisão e as doses variam pela classe de fertilidade de cada talhão. Existe adubação que é específica de cada cultivar e as doses são aplicadas de acordo com as suas respostas que já são conhecidas pela experiência dos produtores e técnicos desta região. O pivô central permite a fertirrigação e potencializa o aproveitamento dos nutrientes pela cultura devido o maior fracionamento durante todo o ciclo e disponibilização direta na solução do solo.

Em relação a adubação orgânica, compostos como esterco bovino e/ou de galinha são utilizados e as doses podem variar entre 10 a 30 t.ha⁻¹ (Carvalho et al., 2021). Pode-se utilizar compostos orgânicos misturados a esterco bovino (25%), cinzas ou fosfatos

naturais (5 a 10%).

Um fertilizante natural chamado Bokashi também é muito utilizado no cultivo de cenoura. Um efeito benéfico do Bokashi pode ser demonstrado no trabalho de Shin et al. (2017). Houve redução na incidência de doenças de solo, inclusive na infecção da cenoura por *Rhizoctonia solani*. Tal efeito é satisfatório porque as doenças de solo podem reduzir significativamente o rendimento de várias culturas (Liu et al., 2007; Van Bruggen e Finckh, 2016). Efeitos positivos no rendimento e qualidade de culturas como o feijão (Javaid e Bajwa, 2011; Roberti et al., 2015; Talaat et al., 2015), milho (Xu, 2001), ervilha (Javaid, 2006), amendoim (Yan e Xu, 2002), arroz (Iwaishi, 2000), tomate (Ndona et al., 2011; Xu et al., 2000) e trigo (Hu e Qi, 2013) também foram relatados na literatura. O Bokashi também foi utilizado no projeto Hawaii Space Exploration Analog and Simulation (HII-SEAS) em uma missão à Marte para produzir alimentos, inclusive cenoura, e reciclar resíduos orgânicos (Lenio e Binsted, 2016).

As necessidades nutricionais também podem ser acompanhadas pela avaliação visual de possíveis deficiências nas folhas e análise foliar da cenoura (Tabela 2).

Tabela 2. Sintomas de deficiência nutricional em cenoura.

Nutrientes	Sintomas mais frequentes
Nitrogênio	Amarelamento rápido e geral das folhas velhas com crescimento reduzido da planta.
Fósforo	Folhas roxo-avermelhada nos estágios iniciais na periferia das folhas.
Potássio	Coloração marrom-avermelhada nas folhas que tendem a enrolar e murchar e depois secam.
Cálcio	Necrose nas pontas das folhas mais novas e botões vegetativos. Degradação da estrutura dos pecíolos e o aparecimento de áreas acastanhadas no núcleo da raiz da cenoura.
Magnésio	Clorose primeiramente em folhas mais velhas e posteriormente secam.
Enxofre	Clorose generalizada e nervuras claras das folhas. Aspecto frágil da planta.
Ferro	Descoloração internerval das folhas jovens e nervuras verdes.
Cobre	Descoloração de folhas novas e morte das raízes.
Zinco	Clorose internerval das folhas com aspectos em faixas.
Manganês	Amarelamento internerval de folhas jovens e crescimento limitado.
Molibdênio	Plantas com vigor reduzido e podem contém bordas marrom nas folhas.
Boro	Folhas alaranjadas e pequenas. O botão vegetativo pode ser danificado e a raiz pode aparecer coloração marrom claro.

O aparecimento de deficiências pode ser constatado rapidamente para que o manejo da adubação seja feito antes que haja perdas maiores e as correções se tornem onerosas e de difícil resolução (Nunez, 2020). Aquino et al. (2015) mencionaram que na região do Alto Paranaíba, onde a cidade de São Gotardo está localizada, as produtividades de cenoura estão acima de 80 t.ha⁻¹. Dessa forma, as recomendações de adubação de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) estão aquém para alcançar esta produtividade no nível tecnológico aplicado.

A cultura da cenoura tem ciclo curto e é complexo estabelecer o estágio fenológico ideal para a coleta das folhas. Para análise foliar, Malavolta et al. (1997) recomendaram

destacar as folhas totalmente expandidas cerca de 40 DAS. Porém, as condições climáticas e a cultivar influenciam na absorção de nutrientes, e as influências são mais drásticas em culturas de ciclo curto. Para superar esses problemas pode-se fazer um histórico local dos teores foliares da parte aérea no momento da colheita e padronizar a interpretação de acordo com a produtividade real alcançada (Dezordi et al., 2016). Com esta metodologia de coleta e análise foliar, Dezordi et al. (2016) conseguiram identificar com sucesso os nutrientes mais limitantes na cultura da cenoura.

A adubação de micronutrientes na cultura da cenoura também tem efeitos benéficos na qualidade da raiz. Os micronutrientes boro e cálcio melhoram a qualidade física das raízes, entretanto podem reduzir o teor de carotenoides e vitamina C se não forem aplicados de forma equilibrada em relação aos demais nutrientes (Singh et al., 2012). Micronutrientes modificam o aparato bioquímico das plantas, participando na produtividade e composição de carotenoides em cenoura (Biacs et al., 1995). Alimentos mais ricos em micronutrientes podem incrementar na dieta humana e modular as respostas imunológicas, ajudando até mesmo na otimização da eficácia da vacina contra a COVID-19 (Altooq et al., 2022). A vitamina A também é um composto sintetizado graças a fisiologia da planta através da nutrição de elementos chave. Este composto previne doenças alérgicas e a sua ingestão desenvolve a visão e reprodução e contribui para a manutenção e regula o sistema imunológico (Hufnagl e Jensen, 2018).

V. Plantas daninhas

Atualmente poucos herbicidas são registrados para controle de plantas daninhas (PD) em cenoura (Carvalho et al., 2021) (Tabela 3).

Tabela 3. Herbicidas para o manejo de plantas daninhas na cenoura no Brasil.

Herbicida	Classe	Características	Dose recomendada
Cletodim	Sistêmico de pré e pós-emergência	¹ t/2= 3 ² Kow= 40 ³ S= 5.520 ⁴ pKa= 4,1 ⁵ Koc= ?	0,35 a 0,45 L.ha ⁻¹
Fenoxaprope-P-etílico	Seletivo pós-emergente	t/2= 5 – 30 Kow= 13.200 S= 0,5 – 1,0 pKa= ? Koc= 11.354	0,4 – 1,5 L.ha ⁻¹
Fluazifope-P-butílico	Seletivo de ação sistêmica	t/2= 15 Kow= 0,8 S= 1,1 pKa= 0 Koc= 3394	0,5 a 1 L.ha ⁻¹
Linurom	Seletivo de ação sistêmica	t/2= 60 a 150 Kow= 1.010 S= 75 pKa= 0 Koc= 842,8	2 L.ha ⁻¹
Trifluralina	Seletivo sistêmico de pré- emergência	t/2= 164 Kow= 118.000 S= 0,3 pKa= 0 Koc= 15.800	1,2 L.ha ⁻¹

¹t/2= tempo de meia vida em dias; ²Kow= coeficiente de partição octanol/água em pH 7,0; ³S= solubilidade em água a pH 7,0 (mg.L⁻¹); ⁴pKa= constante de dissociação eletrolítica; ⁵Koc=Constante de sorção normalizada para o teor de carbono orgânico (mg.L⁻¹); ⁶Dose recomendada na bula do produto para a cultura da cenoura.

Pela restrição de herbicidas registrados, o manejo de PD acaba tornando um dos maiores desafios na produção da cultura da cenoura. A cenoura é a cultura mais sensível à interferência de PD de 26 culturas revisadas, segundo Van Heemst (1985). Esta sensibilidade é devido a variabilidade de emergência, vigor das plântulas e pelo lento acúmulo de biomassa aérea. Dessa forma, o manejo deve se voltar às estratégias diretas, preventivas e culturais para superar esse desafio e produzir cenouras de qualidade (Peruzzi et al., 2007).

O controle bem ajustado e com técnicas integradas permite que a lavoura seja conduzida em PD (no limpo) durante o período crítico de desenvolvimento da cenoura (Carvalho et al., 2021). Swanton et al. (2010) investigaram o período crítico da cenoura em

duas datas de semeadura. Em meses que o crescimento inicial da cenoura é mais rápido, o período crítico foi de 414 a 444 graus-dia de desenvolvimento (GDD). Já em meses de crescimento inicial mais letárgico, este período foi estendido para 930 GDD. Freitas et al. (2009) compararam dois espaçamentos de fileiras (0,15 e 0,20 m) e observaram redução de 7 dias no período crítico em espaçamento menores.

A parte comestível da cenoura é exposta diretamente às moléculas dos herbicidas. Como o ciclo é curto, o período de carência destes produtos é um fator crítico. O desenvolvimento de novas técnicas como o controle robótico inteligente, cobertura morte sobre o solo, uso de bioestimulantes na cenoura ou variedades mais competitivas no crescimento melhoram o controle de PD (Colquhoun, 2020) sem colocar em risco residual de herbicidas.

Não é novidade que as PD reduzem a produtividades das culturas e diminuem a qualidade dos produtos agrícolas. No caso da cultura da cenoura a interferência de PD pode chegar a perdas superiores à 90% no rendimento de raízes comerciais (Bellinder et al., 1997; Coelho et al., 2009; Freitas et al., 2009). As PD podem, além da redução da quantidade de produção por área, afetam o rendimento comercial por serem capazes de deformar as raízes. Isso acontece porque o crescimento da raiz da cenoura é sensível, principalmente na fase inicial de crescimento em profundidade. A deformação das raízes dificulta a colheita mecanizada que é um momento crucial da produção.

A cenoura é cultivada em rotação com outras culturas como a batata (*Solanum tuberosum*) e estas podem ser PD comuns que crescem entre as cenouras e também interferem na sua produção. O rendimento da cenoura é reduzido em 5% quando há o crescimento da densidade de apenas 0,06 plantas de batata por m² no cultivo da cenoura (Williams e Boydston, 2006). A variedade da cenoura diz respeito ao seu potencial diferente de suportar a competição interespecíficas com PD. Colquhoun et al. (2017) comparando nove variedades de cenouras concluíram que com a variação da taxa de emergência a influência de PD também pode variar. A exemplo disso, o rendimento de raízes da cenoura Kuroda reduziu em 39% e a cenoura Nantes 50% sobre interferência de PD (William e Warren, 1975).

VI. Doenças e pragas

i. Doenças

Embora o manejo químico da lavoura seja indispensável para a produção extensiva

de alimentos, este é cada vez mais questionado pelos impactos ao meio ambiente e saúde humana. Para que o controle efetivo de doenças e pragas seja realizado de forma consciente é necessário que os conhecimentos chave sejam aplicados. As condições de incidência e o todo o contexto biológico das plantas e o manejo realizado são importantes.

Os principais patógenos da cultura da cenoura no Brasil são *Alternaria dauci*, *Cercospora carotae*, *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*, *Meloidogyne* spp., *Oidium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *Athelia rolfsii* e *Pectobacterium carotovorum*. Em campo, os sintomas nas plantas podem ajudar a identificar qual doença está presente na lavoura para tomada de decisão do controle (Tabela 4).

Tabela 4. Sintomas das doenças comuns da cenoura no Brasil.

Patógeno	Sintoma
Queima das folhas ou Queima de <i>Alternaria</i> (<i>Alternaria dauci</i>)	Lesões nos folíolos ou pecíolo de cor marrom- esverdeado, de aspecto encharcado, evoluindo para lesões coalescentes de coloração marrom escuro a preto, com auréola clorótica
Queima das folhas ou Queima de <i>Cercospora</i> (<i>Cercospora carotae</i>)	Inicialmente lesões pequenas e marrom-escuras com centro claro e margens definidas em folhas mais jovens. Depois se tornam grandes, pretas e alongadas nos folíolos e pecíolo.
Queima das folhas ou Queima bacteriana (<i>Xanthomonas hortorum</i> pv. <i>carotae</i>)	Presença de exsudado com aspecto de goma nos pecíolos levando à lesão necrótica marrom-escura molhada nas bordas e halo clorótico. Semelhante a <i>A. dauci</i> e <i>C. carotae</i> . Possível sintomas nas raízes e inflorescência
Meloidoginose (<i>Meloidogyne</i> spp.)	Inicialmente aparece aspecto de pó branco cobrindo as folhas por completo. <i>Leveillula</i> spp. aparecem manchas amareladas na parte superior dos folíolos e pó branco na parte de baixo. Manchas de coloração marrom-escura ou preta bordas amareladas.

É ideal que o gerenciamento do controle seja integralizado combinando métodos de controle cultural, rotação de culturas, variedades resistentes, rotação de princípios ativos e outras técnicas agronômicas (Clerc e Briard, 2020).

ii. Pragas

Pragas também são desafios no cultivo da cenoura, causando danos e reduzindo produtividade. As principais pragas podem ser subdivididas em grupos para melhor acompanhamento dos sintomas e sinais em lavouras de cenoura (Tabela 5).

Tabela 5. Pragas da cultura da cenoura e grau de incidência.

	Nome comum	Nome científico	Incidência ¹
Invertebrados (danos na raiz)	Lesma	<i>Deroceras recitulum</i> , <i>Arion hortensis</i> , <i>Milx gagates</i> e <i>Limax flavus</i>	B/M
	Centopeia	<i>Scutigera immaculata</i> e <i>Blaniulus guttulatus</i>	B
Invertebrados (danos nas folhas)	Ácaros	<i>Panonychus ulmi</i> , <i>Petrobia latens</i> , <i>Tetranychus turkestanii</i> e outros	
Insetos (danos na raiz)	Gorgulho da cenoura	<i>Liparus coronatus</i> e outros	B
	Minhocas	<i>Agriotes lineatus</i> e outros	B/M
	Mosca da raiz	<i>Psila rosae</i>	B/M
	Mosca minadora	<i>Napomyza carotae</i>	B
	Mosca da cenoura	<i>Tipula maxima</i> e outros	B/M
	Trípes		
Insetos (danos nas folhas)	Trípes	<i>Thrips tabaci</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i>	B
	Mosca branca	<i>Bemisia tabaci</i> e <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	B/M
	Apídeos	<i>Cavariella argopoddi</i>	B/M
	Psíldios	<i>Bactericera trigonica</i> , <i>B. nigricornis</i>	

¹B=baixo, M=médio e A=alto. Adaptado de: Collier e Villeneuve (2020).

2.3 Cenoura e seus componentes para a nutrição humana

As espécies da família *Apiaceae* produzem os alimentos mais importantes na dieta global. A ingestão de frutas, legumes, frutos secos e grãos inteiros trazem benefícios a saúde humana. Estes alimentos são ricos em nutrientes essenciais (proteínas, potássio, magnésio, vitamina C, fosfato e outros componentes bioativos) que possuem capacidades antioxidantes e anti-inflamatórias (Kadkhoda et al., 2020). As plantas são usadas nas cozinhas em todo o mundo porque possuem óleos essenciais e compostos voláteis e não voláteis (Maxia et al., 2009; Prachayasittikul et al., 2018), além de serem fontes de energia, vitaminas e minerais.

Em específico, a cenoura é uma das hortaliças com raízes comestíveis mais apreciadas em todo mundo. Ela é usada tanto como simples alimento quanto por questões médicas mais específicas pelos compostos que possui (Carlos e Dias, 2014). As cenouras contêm um enorme conteúdo de antioxidantes como as vitaminas C e E, fitoalexinas, compostos fenólicos, antocianinas e outros componentes (Alasalvar et al., 2001; Singh et al., 2012). Cada um deles propicia, de diversas formas, o bom funcionamento da fisiologia humana após a ingestão. Como algumas populações do mundo necessitam exclusivamente de vegetais para curar diversos problemas de saúde (Raju et al., 2006), a cenoura torna ainda mais expressiva sua relevância.

Os carotenoides são os compostos mais explorados na literatura. Eles são tetraterpenoides biossintetizados por plantas, fungos, bactérias e algas. Entretanto, animais e humanos não são capazes de produzi-lo, adquirindo-os somente através da ingestão de alimentos que possuem este composto (Tapiero et al., 2004). O tipo e cor das variedades de cenoura é dado pela variação do conteúdo e composição dos carotenoides (Baranski et al., 2011). Eles são os pigmentos naturais que vão do amarelo ao laranja que se acumulam nas folhas, flores e raízes da cenoura (Raju et al., 2006).

A produção de carotenos na raiz depende da época de semeadura e características de maturação da cenoura. Le Dily et al. (1994) observaram que houve acúmulo gradual no conteúdo de carotenoides em outubro quando a semeadura foi feita em junho. De acordo com Lee (1986), a sazonalidade da evolução das variedades de cenoura também reflete no conteúdo de vitamina A na raiz. O atraso na maturidade resulta em baixo teor de caroteno, bem como colheita precoce de raízes (Aubert, 1981), embora algumas variedades sejam capazes de acumular carotenos mais cedo que outras (Fleury et al.,

1994).

Entretanto, existe um limite máximo de acúmulo de carotenoides a despeito da redução da matéria seca. Este acúmulo é contínuo a partir dos 45 DAS, seguindo o crescimento das raízes e reduzindo o acúmulo após um certo estágio de maturidade (Villeneuve e Leteinturier, 1992; Clotault et al., 2008). O crescimento das raízes em período favorável à planta estimula o armazenamento de carotenoides (Perrin et al., 2016). A radiação global e temperatura são fatores que explicam as diferenças entre as características de cada cultivo (Bach et al., 2015). Os compostos químicos na raiz da cenoura respondem à quantidade de luz e tempo de cultivo (Northolt et al., 2004).

As cenouras têm propriedades anticancerígenas, antioxidantes e estimulantes do sistema imunológico as quais promovem a saúde (Bystrická et al., 2015). O micronutriente β -caroteno é o carotenoide mais importante da cenoura. Este elemento é o mais explorado pela literatura. Oxidação enzimáticas e não enzimáticas de carotenoides geram produtos com propriedades fisiológicas e sensoriais (Burton et al., 2021). São eles que dão coloração à raiz e é a principal fonte de vitamina A. A oxidação enzimática de carotenoides em humanos gera a vitamina A e em plantas gera os hormônios ácido abscísico e estrigolactona. A oxidação não enzimática confere fragrância e sabor nos produtos (Winterhalter e Rouseff, 2001).

A vitamina A é extremamente importante. Auxilia na proteção da visão humana, reduz a degeneração muscular, aumenta a imunidade e contribui na fertilidade (Dias, 2012a; 2012b). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), 210 milhões de crianças e mulheres sofrem de deficiência de vitamina A (WHO, 2009) e 45% das crianças abaixo de cinco anos de idade são desnutridas em países como a Ásia e África (WHO, 2021). Dessa forma, a deficiência desta vitamina está entre as principais evidências de desnutrição (Müller, 2005).

Características da cenoura como o diâmetro do núcleo, peso das folhas e peso da raiz estão associados ao acúmulo de β -caroteno (Riaz et al., 2022). A diferenciação principal entre cenouras selvagens e cenouras cultivadas é o conjunto de cores pelo acúmulo dos pigmentos carotenoides e antocianinas (Coe et al., 2021). Outros benefícios do β -caroteno podem ser citados: prevenção do cancro no pulmão, próstata, cólon e mama (Tapiero et al., 2004). O mecanismo de atuação é que há a proteção oxidativa do oxigênio molecular e interação sinérgica do β -caroteno com antioxidantes (Tapiero et al., 2004).

Além do β -caroteno, as cenouras também possuem um composto chamado de

antocianina. Ela é abundante em cenouras pretas e tem característica funcional e estrutural que se aplicam a indústria alimentícia para produzir alimentos com baixa acidez, produzir bebidas e até confetes (Petropoulos et al., 2019). Sucos concentrados de frutas, néctares, refrigerantes, geleias, iogurtes, marmeladas e delícias turcas são coloridos naturalmente com antocianinas (Downham e Collins, 2000; Polat et al., 2022). Além da coloração a antocianina são fortes antioxidantes e também previnem doenças cardiovasculares, tumores, diabetes, obesidades e é usada para tratar distúrbios no comportamento cognitivo (Algarra et al., 2014; Ren e Giusti, 2021).

Os compostos bioativos da cenoura são reconhecidos pela importância econômica (Leja et al., 2013). Dentre os vegetais desta família, a cenoura é uma fonte barata de carotenoides por possuir alto teor nas raízes, fornecendo 67% do α -caroteno e 28% do β -caroteno da dieta de americanos (Simon et al., 2008; Maiani et al., 2009) e 60-82% do α -caroteno e 60-90% do β -caroteno em várias dietas europeias (Maiani et al., 2009).

Atualmente, nos últimos anos, a importância da conscientização sobre o consumo de frutas e hortaliças frescas aumentou pelos vastos conhecimentos sobre os benefícios à saúde (Pounraj et al., 2020). Nos EUA, o consumo de alimentos frescos aumentou em pelo menos 25% (Arienzo et al., 2020) e aumentou 10% na Europa (Arienzo et al., 2020). A desnutrição e a deficiência de minerais são os principais problemas das causas de doenças e mortes no mundo (Riaz et al., 2022). Vegetais frescos contêm nutrientes essenciais que previnem doenças cardiovasculares, câncer e outras doenças crônicas (Rashmi e Negi, 2020). A preocupação que deve existir é a qualidade da limpeza dos alimentos. Vegetais crus, se não forem bem higienizados, podem portar muitos microrganismos, metais pesados e poluentes químicos (defensivos agrícolas). Estes contaminantes causam graves surtos de doenças e riscos à saúde dos seres humanos (CDC, 2020; Bhanti e Taneja, 2007). Alimentos como estes podem ser facilmente descontaminados na limpeza antes do consumo, o que garante a segurança alimentar.

Cenouras podem ter sua variabilidade genética explorada para desenvolver produtos nutracêuticos. Nutracêuticos são alimentos inteiros ou partes deles que proporcionam benefícios à saúde e previnem doenças crônicas (Cicero e Colletti, 2017; Garga e Ahuja, 2015). Servem como suplemento alternativo para prevenção de doenças nutricionais em humanos e diminuição do risco de doenças crônicas (Riaz et al., 2022). Além disso, outras enfermidades como o câncer, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas também são reduzidas (Slavin et al., 2012; Di Cagno et al., 2013;

Boeing et al., 2012).

A cenoura pode ser utilizada para a produção de bebidas ricas em nutrientes que ajudam na viabilidade de bactérias probióticas benéficas ao ser humano (Otlés e Ozyurt, 2019). Os efeitos positivos destas bebidas são diversos: alívio dos sintomas da intolerância a lactose, intestino inflamado, síndrome do intestino irritável, dermatite atópica em crianças, prevenção à alergias e aumento da imunidade (Otlés e Ozyurt, 2019).

Pó de cenoura já é utilizado para mistura em alimentos industrializados para aumentar seu valor nutritivo. Deste produto se extrai a fibra de cenoura que é um aditivo alimentar aprovado pela Food and Drug Administration (Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos) (Bolthouse Farms, 2002). A fibra de cenoura é produzida a partir de 100 toneladas de resíduos de cenoura por dia (Bolthouse Farms, 2007). Alimentos com pó de cenoura podem fornecer formulações com boa porcentagem da vitamina A estável e bioacessível indicada como dose diária recomendada (Ndiaye et al., 2020). O pó de cenoura além da aplicabilidade na indústria alimentícia (molhos, assados, pães, carnes processadas etc.) é um produto sustentável porque é derivado dos restos de cenouras frescas processadas. Este ingrediente atua como agente aglutinante, espessante, extensor e estabilizador em níveis superiores a 5% do produto final (Burton et al., 2021).

É fato de que muitas pessoas não têm acesso à alimentação de qualidade por questões de vulnerabilidade econômica ou falta de fornecimento ao mercado consumidor. Isso impacta na dieta e nos hábitos alimentares que afetam a saúde e bem-estar das pessoas (FAO, 2020). Para uma dieta balanceada em todos os nutrientes necessários à vida requer uma variabilidade de alimentos tais como frutas, legumes e verduras. Apesar do consumo de alimentos saudáveis, produtos industrializados aumentam a ingestão de açúcares, gorduras, conservantes e outros aditivos químicos que aumentam a ocorrência da obesidade. É cada vez mais comum jovem de 18 anos sofrerem de excesso de peso ou obesidade (FAO, 2020). A OMS julga que má hábitos alimentares, rotina de trabalho e falta de atividade física são as razões de gerar a obesidade (WHO, 2020).

Produtos industrializados têm se tornado mais baratos principalmente com a otimização de processos e redução dos custos de produção. Com isso, há aumento da diabetes e obesidade, o que representa uma preocupação mundial significativa (Ortiz et al., 2021). Dado a necessidade de assegurar qualidade na alimentação, novos produtos

vêm sendo desenvolvidos. Estes produtos devem caracterizar-se por oferecerem quantidade correta de nutrientes com baixo teor de açúcares, gorduras e sal. Produtos desenvolvidos contendo vegetais tem características físicas e propriedades nutricionais aceitáveis dentro desta proposta. A cenoura está entre os vegetais que podem ajudar neste desafio e produzir alimentos que estejam dentro das normas exigidas e que não contenham alto teor de carboidratos e glúten (Ortiz et al., 2021).

Além de receitas culinárias e consumo “in natura”, o valor composicional da cenoura é manipulado pela medicina tradicional e os compostos são úteis contra várias doenças. Tem-se popularizado a obtenção isolada de metabolitos secundários das atividades biológicas das plantas. Por exemplo, os fitoquímicos terpenoides, fenilpropanoides, poliacetilenos e alcalóides têm potencial para aplicações farmacológicas e industrial, o que torna estas plantas relevantes além da alimentação humana na promoção da segurança alimentar (Bruneton, 1999; Sayed-Ahmad et al., 2017).

A cenoura também é fonte para a criação de insetos comestíveis. Os insetos apresentam uma alternativa de fonte alimentar sustentável e nutritiva e a prática é apoiada pela OMS e FAO (Van Huis et al., 2013). A ideia de criar insetos para a alimentação frente a escassez global surgiu em 1975 (Meyer-Rochow, 1975). Insetos comestíveis podem ajudar a alimentar a crescente população (Van Huis et al., 2013).

Dieta contendo bagaço de cenoura também pode ser utilizada para criação do inseto *Tenebrio molitor* que é fonte de proteína sustentável (Rovai et al., 2021). A composição das larvas *Tenebrio molitor* são influenciadas pela fonte alimentar dadas a elas (Van Broekhoven et al., 2015). A criação de insetos deve ser feita de forma massiva para ajudar a suprir a demanda por alimentos. As larvas *Tenebrio molitor* são ideais pela capacidade de crescimento mesmo em alta densidade larval (Zaelor et al., 2018). A produção em massa de insetos comestíveis tem sido relatada e possui os resultados promissores (Varelas, 2019).

2.4 Cenoura além da alimentação humana

1. Protetor solar

O extrato de cenoura possui compostos com atividade fotoprotetora que podem ser incorporados na formulação de gel para o preparo de protetores solares (Pavlyuk et al., 2015).

II. Ração bovina

A cenoura pode ser utilizada no enriquecimento da ração ofertada na alimentação de vacas em lactação, aumentando o teor de vitaminas e acentuando o valor nutricional do leite, mas deve ser utilizada com moderação pois pode acarretar em queda na produção de leite devido baixo teor de proteína na cenoura não supre as necessidades das vacas, o excesso de fibra interfere na digestão e absorção de nutrientes, além de problemas digestivos como acidose ruminal e diarreia. (Antonio et al., 2011).

III. Biodiesel

As características dos componentes da cenoura podem ser usadas para a produção de energia sustentável. Um exemplo é a produção de bioetanol, que pode ser alcançada através da fermentação da polpa de cenoura com *Saccharomyces cerevisiae* e melaço de beterraba (Khoshkho et al., 2022). Este método tem despertado considerável interesse devido às condições econômicas atuais do mercado de petróleo, incentivando a busca por alternativas baseadas em biomassa vegetal (Vohra et al., 2014). A produção de bioetanol é possível a partir da polpa de cenoura fermentada com *Saccharomyces cerevisiae* e melaço de beterraba (Khoshkho et al., 2022). Com condições econômicas atuais do mercado do petróleo, a utilização de biomassa vegetal tem atraído interesse (Vohra et al., 2014). As matérias-primas para a produção de bioetanol depende da composição do açúcar, custo e rentabilidade durante o processo (Lin e Tanaka, 2006). A cenoura é outra opção de recurso agrícola renovável além do milho, sorgo, batata, melaço de cana e outros (Khawla et al., 2014).

IV. Corante

A cenoura também é rica em antocianina (Polat et al., 2022). Este composto é utilizado como corante alimentício e é uma alternativa viável além dos corantes sintéticos. A capacidade de solubilidade em água da antocianina torna-a atraentes para diversas aplicações (Sucheta e Yadav, 2020) devido a sua superioridade na pigmentação. Outras características marcantes das antocianinas é a maior resistência a degradação térmica e mantem a coloração em maior faixa de pH e diferentes condições de conservação (Gizir et al., 2008).

V. Revestimento

Nanofibras de celulose obtido a partir de restos de cenoura é uma forma de

reciclagem de resíduos da indústria alimentícia. Elas podem ser usadas para reforçar filmes biodegradáveis para embalagens de alimentos e aplicações biomédicas (Shih e Su et al., 2021). Estas nanofibras de celulose resultaram em atraso no escurecimento enzimático de frutas por até 1 semana (Amoroso et al., 2022), aumentando o tempo de prateleira.

VI. Cosméticos

Azmin et al. (2021) mostraram que hidratante labial natural a base de cenoura obteve excelente estabilidade e outras características ideais para a comercialização como cosmético.

2.5 Qualidade da cenoura

A qualidade da cenoura é pautada em seus aspectos visuais e sabor, composição nutricional, valorização no mercado e preferência dos consumidores. Existem inúmeras formas pormenorizadas de se avaliar a qualidade geral das raízes da cenoura (Tabela 6).

Tabela 6. Atributos sensoriais da cenoura de acordo com a literatura.

Tipos	Atributos
Aparência	Cor
Textura	Crocância, suculência, firmeza
Sabor	Doçura e amargor
Sabor residual	Gosto após reparo
Cheiro	Intensidade de odor, odor verde
<i>Flavour</i>	<i>Flavour</i> geral, <i>flavour</i> de cenoura, dureza, pungência, <i>flavour</i> verde

Fonte: Cottet e Navez (2020).

Fatores genéticos das cultivares, estação de crescimento, condições ambientais no crescimento e armazenamento das cenouras e manejo interferem na qualidade das raízes (Wszelaczyńska et al., 2019). Em ordem decrescente de importância os fatores podem ser organizados primeiramente com a cultivar, depois as condições ambientais e finalmente as práticas de cultivo (Geofriau, 2020). Estes fatores interagem entre si.

Trabalhos podem ser citados para exemplificar a interferência do manejo na qualidade da cenoura. Métodos de controle de plantas daninhas podem modificar o conteúdo de carotenoide e açúcar solúvel que estão diretamente ligados à qualidade da cenoura (Sandhu et al., 1988). O manejo da adubação também exerce esse papel. Adicionando os nutrientes boro e cálcio há a melhoria da qualidade física das raízes de cenoura, mas reduz as quantidades de carotenoides e vitaminas C se aplicados em

excesso (Singh et al., 2012).

Para o consumidor, o sabor é uma característica marcante que influencia diretamente na qualidade da cenoura. Sabor, doçura e textura em conjunto são variáveis organolépticas para a apreciação durante o consumo (Simon et al., 1982). O conteúdo de açúcares afeta a doçura e os terpenoides voláteis afetam o sabor (Buttery et al., 1968). No germoplasma de cenoura, o total de açúcar varia mais de dez vezes (Baranski et al., 2011) e os terpenoides são controlados geneticamente por 30 *quantitative trait loci* (QTLs) (Simon e Grzebelus, 2020). Cenouras mais doces e saborosas são as mais preferidas pelos consumidores (Simon e Grzebelus, 2020). A seleção genética de cenoura assistida é possível através de marcadores genéticos como o locus Rs que controla o equilíbrio dos açúcares livres na raiz, tendo alta precisão de seleção (Cavagnaro, 2019).

A morfologia da raiz, incluindo seu tamanho e formato, é um critério essencial, especialmente quando se trata da comercialização de cenouras frescas. Em geral, neste mercado, cenouras excessivamente grandes ou com deformidades tendem a não ser valorizadas para a venda. A deformação da raiz no momento do crescimento é induzida pela estruturação do solo, alta salinidade, poluição da atmosfera, defensivos químicos, ataque de pragas ou doenças ou até em resposta à falta ou excesso de nutrientes, luz, umidade ou temperatura (Tabela 7).

Tabela 7. Fatores quem induzem a deformação da cenoura.

Fatores abióticos		Fatores bióticos	
	Doenças		Praga
Geada	<i>Pythim</i> spp.	Mosca de cenoura (<i>Psila rosae</i>)	
Crescimento interrompido	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Meloidogyne</i> spp. <i>Pratylenchus</i> spp.		
Herbicidas		Broca (<i>Agriotes</i> spp.)	
Resíduos de culturas		Sífilo (<i>Scutigerella immaculata</i>)	
Agregados de solo			

Fonte: Villeneuve e Geoffriau (2020).

A colheita também controla a qualidade das cenouras. Ela é realizada quando a cenoura atinge a maturação ou até o tamanho e diâmetro normal de crescimento de acordo com o tipo de cultivar. Porém a raiz continua a crescer se for deixada no solo e as condições climáticas forem favoráveis à cultura (Villeneuve, 2020). Cada cultivar é voltada para o tipo de comercialização específica. Cenouras Imperador atingem comprimento de 0,20 a 0,24 m e 0,03 a 0,04 m de diâmetro e as Nantes atingem 0,15 a 0,18 m e 0,05 de diâmetro (Nunez, 2020). Os diferentes tipos de estresses também influenciam na qualidade organoléptica da cenoura (Tabela 8).

Tabela 8. Efeitos de estresses na composição das raízes da cenoura e percepção sensorial.

Tipo de estresse	Estresse	Efeito no conteúdo da cenoura	Referência
Estresses agronômicos	Água	= açúcar, nitrato, vitamina C, β -caroteno, fibra (MF)	Sørensen et al. (1997)
		= carotenoide, açúcar (MF)	Perrin et al. (2017)
Estresses agronômicos	Salinidade	↑ nitrogênio (MS ²) ↓ ácido ascórbico (MF), = carotenoides (MF), atividade antioxidante	De Pascale e Barbieri (2000) Eraslan et al. (2007)
	Boro	↓ ácido ascórbico (MF), = carotenoides (MF), atividade antioxidante	Eraslan et al. (2007)
	Frio	↑ açúcar (MF)	Kovacs et al. (2007)
	Alta temperatura na produção	↑ terpenos, β -caroteno e cariofileno (MF) ↑ amargor	Manosa (2011)
Estresses climáticos	Alta temperatura na zona da raiz	↑ fenóis (MF) e = carotenoides (MF)	Rosenfeld et al. (2002) Sakamoto e Sukuzi (2015)
	Danos por granizo	↑ isocoumarin, 6-methoxymellein, ácidos orgânicos e fenólicos totais (MS), = carotenoide ou açúcar (MS), ↓ percepção de doçura, ↑ amargor	Talcott e Howard (1999)
Estresses bióticos	<i>Alternaria dauci</i>	↓ carotenoides e açúcar (MS)	Perrin et al. (2017)

¹MF= massa fresca, ²MS= massa seca. Símbolos: ↑ aumento, ↓ redução e = sem efeito.

Como já se sabe que os carotenoides são terpenos que alteram o sabor da cenoura. Eles são afetados por tratamentos térmicos, por processos pós-colheita e condições de temperatura de armazenamento. Tais condições devem ser cuidadosamente planejadas. O estresse pós-colheita na cenoura aumenta a isocumarina nas raízes relacionada ao amargor (Seljåsen et al., 2001a). Cenouras expostas ao etileno (hormônio volátil) também intensificam o sabor amargo (Seljåsen et al., 2001b). Isso acontece porque este composto volátil induz a síntese de polifenóis que causam amargor (Kramer et al., 2012). Tratamento de cenouras com um composto antagônico ao etileno (1-metilciclopropeno) é capaz de reduzir o amargor durante o armazenamento.

As cenouras podem ser armazenadas em câmaras frias durante vários meses (Nunez, 2020). O armazenamento influencia principalmente na textura (firmeza e crocância) Suojala (2000) e em condições de câmara fria os componentes de sabor e doçura são preservados. A textura diminui lentamente durante o armazenamento a 0

$\pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade de 80 a 95%. Compostos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) também diminuem durante o armazenamento, mas não chegam a reduzir significativamente para afetar a percepção de doçura (Crespo et al., 2007).

Cottet e Navez (2020) indicaram os estímulos sensoriais em relação à qualidade organoléptica e nutricional em três dimensões:

- 1- Percepção qualitativa: descrição do sabor doce ou amargo da cenoura;
- 2- Percepção quantitativa: descrição da intensidade da percepção de doçura ou amargor;
- 3- Reação hedônica: associação aceitação, ou seja, gostar ou não gostar.

As características sensoriais são tradicionalmente avaliadas por análise descritiva com avaliadores bem treinados (Stone et al., 2012) mas métodos alternativos têm sido desenvolvidos atualmente (Ares e Varela, 2014).

2.6 Segurança alimentar e meio ambiente

A cenoura é uma das hortaliças mais importantes no Brasil e no mundo. É a hortaliça de raiz com maior valor econômico (Patkowska et al., 2020; Carvalho et al., 2018). Para a definição da qualidade alimentar voltada à segurança alimentar é necessário que haja o controle de contaminantes e o conhecimento da composição dos alimentos (Islam et al., 2016; Rehman et al., 2017). A FAO (2020) estimou que 9,7% da população

mundial esteve exposta a alimentos impróprios para o consumo em algum momento no ano de 2019 (FAO, 2020).

A segurança alimentar é o acesso a alimentos de qualidade e quantidade suficiente, não havendo comprometimento de outras necessidades essenciais (Trivellato et al., 2019). A cenoura pode ser atrelada a segurança alimentar pela vasta possibilidade de exploração na alimentação e vitalidade humana por conter compostos inerentes à nutrição e à saúde (Resende et al., 2016; Gomes et al., 2019). Em relação ao meio ambiente, a possibilidade de aproveitamento dos resíduos de

cenoura (não são utilizados na alimentação) como matéria-prima para a produção de biodiesel torna-a verdadeiramente sustentável. Sustentabilidade é alinhar processos para que ocorra o mínimo de desperdícios possível, assim aproveitando ao máximo os recursos utilizados em um sistema produtivo. Dessa forma, a segurança alimentar é correlata às preocupações com a produção de resíduos que são descartados no meio ambiente.

Os consumidores estão cada vez mais preocupados com alimentos que tenham alto valor nutricional e estejam livres de contaminantes químicos para garantir a qualidade e segurança alimentar (Zohair et al., 2006). Isto está ligado ao fato de que o uso de agrotóxicos faz parte da agricultura moderna para contribuir para a produtividade das culturas (Oerke, 2006; Patkowska et al., 2020; Larsen et al., 2017; Wu et al., 2021). Entretanto, se utilizados de forma indevida, estes produtos ameaçam a segurança dos alimentos e poluem o meio ambiente (Houbraken et al., 2016). É comum a ocorrência de alta taxa de contaminantes nos alimentos atualmente (Gomes et al., 2020). A pressão seletiva imposta pelo excesso dos produtos químicos no ambiente de cultivo leva também a problemas de ressurgimento de pragas e pragas secundárias, além de aumentar a resistência e reduzir a biodiversidade (Houbraken et al., 2016; Nogueira et al., 2020). A partir disso, surge a necessidade de desenvolvimento de sistemas de produção de alimentação mais sustentáveis (Toni et al., 2020).

A contaminação de hortaliças também pode ocorrer pela presença de microrganismos em qualquer ponto da cadeia alimentar, sendo encontrados tanto em campo quanto no momento do consumo por fatores de produção, processamento e distribuição (FAO, 2008). Práticas higiênicas e monitoramento da segurança de alimentos devem ser seriamente aplicados por agências governamentais responsáveis para evitar

transmissão de patógenos que causam intoxicações em humanos (Saw et al., 2020). A superfície de alimentos como frutas, vegetais e carnes desempenha um gargalho para a comercialização e saúde pública (Basumatary et al., 2020). A contaminação pode ser resolvida com tratamentos para a remoção tanto de defensivos agrícolas quanto dos microrganismos. Pounraj et al. (2020) demonstraram que o tratamento com ácido láctico e ozônio removeu até 97% de clorpirifós na cenoura, tomate, pepino e alface.

A remoção de contaminantes externamente ao alimento é de extrema importância. A casca da raiz da cenoura pode acumular de 3 a 7 meses a mais de defensivos organoclorados do que a polpa (Waliszewski et al., 2008). Entretanto, o tempo de exposição de alimentos às moléculas químicas determina a contaminação interna. A rota de absorção de resíduos de defensivos agrícolas na cenoura é a difusão após a penetração cuticular (Trapp et al., 2007). Produtos químicos hidrofóbicos podem persistir por mais tempo em cenouras (Eggen et al., 2013; Qin et al., 2021). Além disso, diferenças morfológicas podem contribuir diferentemente nos mecanismos de absorção (Hwang et al., 2016). As pesquisas avançam para investigar métodos para sanitização padronizada, mais eficaz e eficiente de alimentos (Rahman et al., 2021).

A segurança alimentar e cuidado com o meio ambiente usando recursos que seriam descartados também é investigado pela literatura. Nesse sentido, a bioacumulação de elementos químicos é uma das pautas na segurança de alimentos. A bioacumulação excessiva de elementos químicos que podem ser tóxicos e causa preocupação na alimentação de humanos (Dumontet et al., 2001; Kabata-Pendias 2010; Guerra et al., 2012). Lord et al. (2021) usando um composto de resíduos sólidos urbanos (5 t ha^{-1} a uma densidade aparente de 650 kg m^{-3}) como adubação concluíram que o risco à saúde humana é baixo. Resíduos sólidos urbanos utilizados na agricultura são eficazes na reconstituição do solo e é alternativa na gestão de resíduos (Horrocks et al. 2016).

A garantia da qualidade e segurança dos alimentos está diretamente relacionada à presença de metais pesados. Um metal pesado é definido como qualquer elemento metálico com peso atômico superior ao do cálcio (Gall et al., 2015). Hortaliças cujas partes comestíveis se desenvolvem abaixo do solo, como a cenoura, possuem maior potencial de acumular esses metais, os quais representam riscos para o consumo. Isso se deve ao fato de que o solo é o destino final de praticamente todos os insumos agrícolas aplicados, resultando em maior contato com ele. Os resíduos de pesticidas presentes no solo são

absorvidos e retidos pelas raízes das plantas, tornando as culturas de cenoura particularmente suscetíveis à contaminação. (Paustenbach e Madl, 2008). A capacidade de acúmulo de metais pesados depende da espécie vegetal e taxa de absorção bem como as vias de ingestão ou exposição de alimentos e água contaminados no consumo de humanos (Desta et al., 2019). A absorção de metais pesados pelas plantas, por sua vez, depende dos fatores edáficos: umidade; matéria orgânica; pH; disponibilidade de nutrientes e temperatura do solo (Afonne e Ifediba, 2020; Maddela et al., 2020).

É essencial que a população se volte para a alimentação mais saudável dando maior destaque às raízes e outras partes dos vegetais na dieta (Herforth et al., 2019; Gómez et al., 2019); entretanto, exigindo segurança desses alimentos. As intoxicações de origem alimentar impactam na economia e eleva os custos com a saúde, além de abalar a confiabilidade dos consumidores nas práticas alimentares e produtos acabados (Tauxe 2002; Chomel 2008; Newell et al. 2010; Ryan et al. 2018).

Metais pesados tais como cobre (Cu), cádmio (Cd), zinco (Zn) e cromo (Cr), resultam diferentes níveis de toxicidade nos tecidos humanos (Ishaq et al., 2020; Galadima et al., 2012) que pode levar ao desenvolvimento de câncer, hipertensão e alteração do material genético (Chen et al., 2018; Cao et al., 2018). Outros metais pesados são o ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), chumbo (Pb) e arsênico (As) que são gravemente tóxicos à saúde (Ishaq et al., 2020; Galadima et al., 2012; Okpala et al., 2018). Os níveis permitidos (mg.kg^{-1}) de metais pesados em frutas e vegetais para consumo humano segundo a OMS/FAO são de 40 para cobre (Cu), 0,3 para chumbo (Pb) e 0,2 para cádmio (Cd) (Husain et al., 1995). Também, altos teores de nitratos e nitritos podem representar riscos à saúde causando metemoglobinemia e câncer (Ramakrishnan et al., 2021).

Toda a discussão sobre os metais pesados nos alimentos que são encontrados na cadeira de suprimentos torna essencial principalmente com a presença de agroquímicos não regulamentados no mercado negro os quais podem conter estes elementos (Ishaq et al., 2020). Isso toma uma importância ainda maior em culturas que são altamente pulverizadas e adubadas, como a cenoura. Há uma tendência de procura por esses produtos por terem um valor inferior aos produtos originais como forma de redução do custo de produção. As atividades humanas contribuem para o acúmulo de metais pesados no meio ambiente (Olutona et al., 2019) e o combate aos resíduos de agroquímicos deve ser intensificada com a gravidade da toxidez e riscos à saúde (Desta et al., 2019).

Outro problema que permeia a temática da segurança alimentar é o desperdício de alimentos. Frutas e hortaliças apresentaram o maior percentual de perda de alimentos em comparação a outros produtos agrícolas, variando de 22 a 25% da quantidade de alimentos produzidos (Nations, 2019). O desperdício acarreta impactos econômicos, ambientais e sociais. Com o consumismo o desperdício tende a aumentar. Entretanto, em países em desenvolvimento, o desperdício está mais associado ao consumo de alimentos inseguros, levando a escassez de alimentos (Pina et al., 2021).

Para contornar o desperdício, novas práticas e tecnologias podem ser adotadas pela sociedade e pelo comércio. Pina et al. (2021) desenvolveram um sistema de apoio à decisão (DSS) para ajudar a reduzir o desperdício de alimentos em mercados de produtos hortícolas frescos e assim promover a segurança e a qualidade dos alimentos. O modelo de precificação dinâmico proposto assume uma relação linear com a vida útil restante da hortaliça analisada para definir o preço de venda. O prazo de validade determinado pelo DSS se mostrou conservador e oportunizou a dinâmica automática aos pequenos varejistas para gerenciar seus negócios, fomentando o lucro.

2.7 Aspectos da Colheita

2.7.1 Padronização das raízes

A cenoura possui diversos usos aplicáveis na humanidade, mas deve ser conduzida em campo de forma adequada para se obter produtividades satisfatórias. Além disso, a operação de colheita é crucial por impactar diretamente na qualidade das raízes produzidas. A melhor época para colher a cenoura depende da cultivar e época de semeadura, condições climáticas e manejo da cultura. Normalmente a colheita é realizada entre 80 a 120 dias após a semeadura (Vieira et al., 2008). As cenouras são classificadas quanto ao comprimento e qualidade da raiz de acordo com o MAPA (1999):

1. Curta ou A: 5 a 12 cm de comprimento;
2. Média ou AA: 12 a 17 cm;
3. Longa ou AAA: ≥ 18 a < 22 cm.

Qualidade, correspondente à tolerância quanto ao somatório de defeitos como deformação, murcha, danos e doenças:

- 1- Tipo 1 ou Extra: 5%
- 2- Tipo 2 ou Especial: 15%

3- Tipo 3: 25%

4- Tipo 4: 35%

Devido à sua capacidade de continuar crescendo mesmo após atingir a maturidade, desde que as condições ideais sejam mantidas (Villeneuve, 2020), a colheita da cenoura para consumo "in natura" é primariamente orientada pela conformidade com os padrões biométricos demandados pelo mercado, incluindo tamanho e diâmetro. A cenoura cresce em profundidade nos estádios mais iniciais e então aumenta o seu diâmetro na fase seguinte (Simões et al., 2010; Vieira et al., 2012). Após a maturidade da cenoura representado pelo máximo de acúmulo de carotenoides e açúcares (Kjellenberg et al., 2016), com a continuação do desenvolvimento das raízes a produtividade tende a aumentar (Simões et al., 2010; Lana, 2012). Entretanto, há os padrões de classificação das raízes e preferência de mercado diferenciais de acordo com o tamanho das raízes.

A homogeneidade das raízes permite maior valorização da produção da cenoura. Além disso, essa característica é favorável à colheita mecanizada. Isto porque quanto maior a uniformidade da lavoura, melhor o desempenho das máquinas e facilidade de adequação das regulagens para reduzir perdas e desperdícios dos produtos colhidos. Carvalho et al. (2015) e Pereira et al. (2015) enfatizaram que a escolha de híbridos que possuem heterose proporciona maior produção de raízes comercializáveis e uniformidade do que cultivares de polinização aberta. O °Brix que também é maior em híbridos pelo melhoramento genético que visa a qualidade das raízes (Carvalho et al., 2015). O modo e época de semeadura também interfere na produtividade (Lana, 2012) e na possibilidade da adequação dos maquinários para a colheita mecanizada.

2.7.2 Colheita manual

O alto custo de aquisição da colhedora de cenoura e as perdas consideráveis da raiz de alto valor agregado ainda ocasionadas na operação de colheita tem desencorajado os produtores da região de São Gotardo-MG para a colheita mecanizada. Nesse contexto, investigar os mecanismos de colheita da cenoura possibilitarão maior efetividade da regulação da máquina e trarão maior aderência a colheita mecanizada. Além disso, fomentar soluções facilitadas da previsão da produtividade permitirão planejamento e gerenciamento esta operação de campo.

Uma colheita de qualidade requerer conhecimento do operador sobre todo o

sistema da máquina e seu estado de conservação para determinar o momento ideal da colheita. É de extrema importância que seja feita a correta regulação da velocidade e rotações dos sistemas mecanizados de acordo com as condições do solo e da cultura (Schanoski et al., 2011), principalmente se tratando da cenoura. Nesta cultura ainda não possuem estudos suficientes para mitigar a falta de informações técnicas aplicáveis ao ajuste das máquinas.

Visto isso, a colheita manual da cenoura é largamente utilizada, mas ainda sim requer uma operação mecanizada no solo antes do arranquio para facilitar o destacamento das raízes de cenoura por trabalhadores rurais. Essa operação consiste em passar uma lâmina de metal em uma profundidade abaixo do crescimento das raízes (Figura 8).



Figura 8. Lâmina de metal usada antes do arranquio manual da cenoura. Fonte: Ageitec, 2022.

Posteriormente, as plantas são arrancadas e colocadas em caixas de 25 kg (Figura 9).



Figura 9. Arranquio de cenoura e pré-armazenamento em caixas. Fonte: Agristar, 2022.

2.7.3 Colheita mecanizada

Os Estados Unidos, no ano de 2008, foram os primeiros a desenvolver um projeto de colhedora de cenoura de arrasto. Entretanto, a mecanização da colheita da cenoura ainda não é realidade para a maioria das áreas cultivadas. Mais pesquisas devem ser feitas nessa temática (Wang e Du, 2014; LI e YANG, 2015).

A colheita mecanizada da cenoura consiste em arrancar a planta do solo, fazer a separação da parte aérea e raiz e transportá-la até o local da lavagem e classificação. O procedimento da separação das partes da planta é importante porque pode causar danos na raiz que interferem na sua qualidade, consistência (Leszczynski, 2011; Wang e Shang, 2012) e vulnerabilidade a patógenos de pós- colheita que reduzem o tempo de prateleira. Isto porque a separação mecânica ocorre através do impacto entre a cenoura e a haste de tração da colhedora (Zeng e Chen, 2018; Maksimov e Maksimov, 2000). A raiz da cenoura é facilmente danificada por este impacto e o grau de dano é resultante dos parâmetros estruturais da planta e parâmetros de trabalho do dispositivo de separação (Xia et al., 2021). Danos internos também podem ocorrer por impacto, mas são de difícil mensuração por meio de experimentos (Xia et al., 2021). Até o momento, não há pesquisas sobre o mecanismo de dano da colheita no arranquio da raiz. Estes danos são apenas baseados na experiência dos produtores porque falta embasamento teórico a este respeito (Xia et al., 2021).

Existe uma diferenciação das colhedoras de acordo com os mecanismos separação da raiz e parte aérea. Wang et al. (2020a) estudando este mecanismo dividiram-as em separação por discos e hastes de arrasto. Jin et al. (2016) estudaram uma colhedora autopropelida de duas linhas com cortadores tipo disco duplo. Zeng et al. (2018) analisaram a influência de parâmetros cinemáticos da barra de tração e desenvolveram um dispositivo de corte, mas pela complexidade de sua estrutura também pode haver danos nas cenouras durante o corte. Mais tarde, Wang et al. (2020b) projetaram um dispositivo de corte rápido com disco único, mas ainda sim apresenta altos danos e requer melhorias no projeto para otimização. Os problemas mais comuns na colheita mecanizada da cenoura são os danos às raízes e redução do corte e separação ou irregularidade do corte (Du et al., 2019; Leszczynski, 2011).

As maiores limitações para o desenvolvimento tecnológico da colheita mecanizada de olerícolas, segundo Wang et al. (2014), são:

1) A mecanização é aplicada fortemente em cultivos extensivos e para olerícolas poucas regiões cultivam em grandes áreas. Também, a semeadura não é padronizada para todas as áreas, o que dificulta a adaptabilidade das máquinas;

2) O custo de fabricação das máquinas é alto e os agricultores menores, os quais mais cultivam olerícolas, não possuem possibilidade de investimento em colheita mecanizada;

3) Os danos das colhedoras ainda devem ser reduzidos para um percentual aceitável;

4) As colhedoras têm mecânica complexa e ocorrem muito entupimento, o que diminui a qualidade da colheita.

Poucos estudos são voltados especificadamente para a mecanização da colheita na cenoura. As pesquisas com a cultura são realizadas principalmente na China (Figura 10).

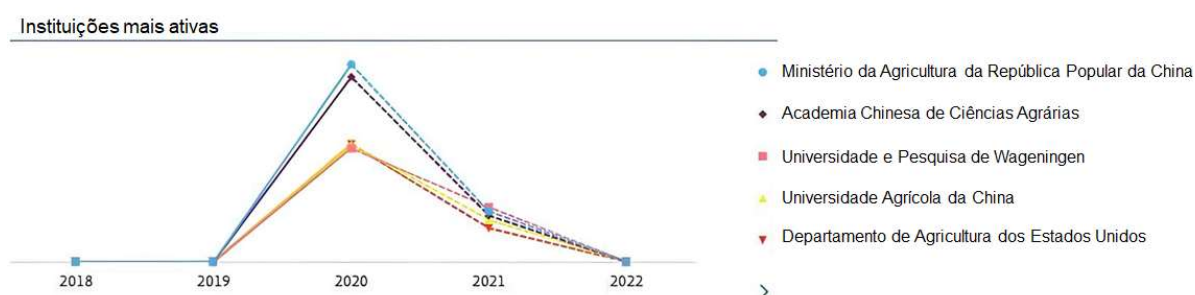


Figura 10. Busca avançada de estudos com olerícolas em todo o mundo no período de 2018 a 2022. Fonte: Scopus, 2022.

A China possui metade da área total de produção mundial de hortaliças (Hu, 2017). Neste país, a colheita é principalmente manual, mas algumas colhedoras de batata são utilizadas na cultura da cenoura (Han et al., 2015). Esta máquina apenas completa os processos de afrouxamento do solo para o arranquio das raízes e não faz a separação da parte aérea da raiz. Dessa forma, a operação possui baixa eficiência e afeta diretamente no valor econômico da raiz que pode sofrer danos e se deteriorar após a colheita (Hu et al., 2008; Wang e Sang, 2021).

Colhedoras combinadas possuem tecnologia avançada na colheita de cenoura e entrega maior eficiência e reduz os danos nas raízes (Wang e Shang, 2012; Cembali et al.,

2008). Exemplos destas colhedoras são os modelos Kubota CH-201C do Japão e ASA-LIFT KOMBI MINI da Dinamarca (Jozef e Norbert, 2011; Stopa et al., 2017). Porém, devido ao modo de plantio e tipo de solo, estes modelos são inadequados para colheita em cultivos extensivos de cenoura na China (Tang et al., 2021) (Figura 11). Também existem colhedoras autopropelidas, como a ASA-LIFT A/S (Figura 12).



Figura 11. Colhedoras de cenoura. Kubota (A), ASA-LIFT (B) e Dewulf (C). Fontes: Agriexpo (A e C) e Keletagro (B), 2022.



Figura 12. Colhedora de cenoura autopropelida ASA-LIFT A/S. Fonte: Agriexpo, 2022.

Apesar dos diferentes modelos de colhedoras tracionadas por tratores ou autopropelidas os mecanismos inerentes à colheita da cenoura são semelhantes. Na colheita mecanizada se perfazem as seguintes etapas ilustrando os mecanismos de cada fase na figura abaixo (TANG et al., 2021) (Figura 13):

- I: Afrouxamento do solo; (7)
- II: Arranquio da raiz pelo caule da planta; (5) III: Fixação e transporte da raiz; (6)
- IV: Limpeza flexível para retirada do solo aderido à raiz; (4) V: Separação da raiz e caule (2)

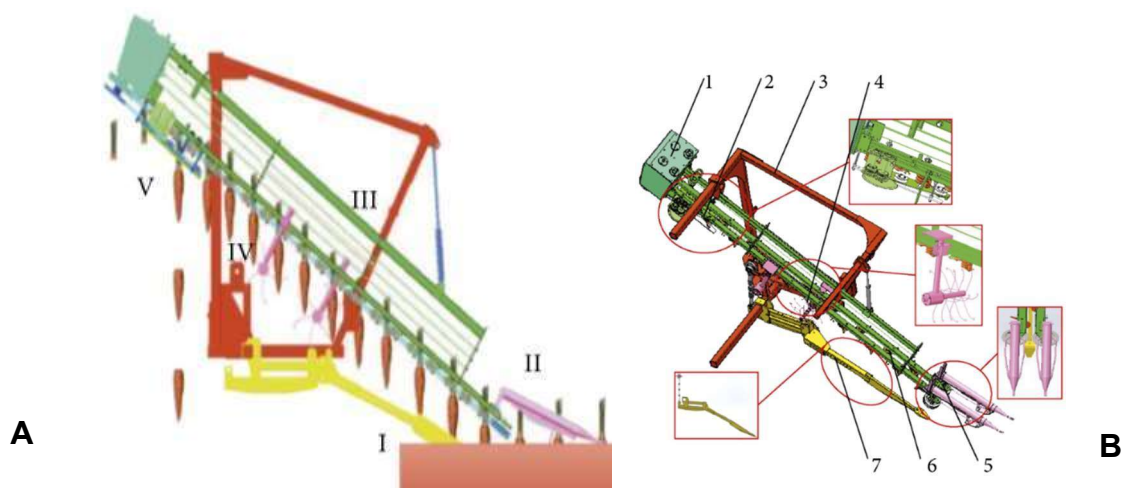


Figura 13. Mecanismos da colhedora de cenoura. Vista transversal (A) e vista longitudinal (B). Fonte: Tang et al., 2021.

A cenoura colhida e separada é depositada em uma caixa coletora. A parte aérea é descartada no campo.

Para que a colheita mecanizada seja funcional para o máximo de ambientes possíveis, diversos aspectos devem ser levados em consideração porque a colheita de olerícolas é complexa. A depender de implementação da cenoura no campo, a operação de colheita mecanizada pode ser adaptada adicionando unidades de colheita de acordo com a quantidade de linhas semeadas no campo. Isso pode melhorar a versatilidade e flexibilidade da máquina referente a operacionalidade (Shirwal et al., 2015; Chen et al., 2020).

Wang et al. (2014) listou quatro características das olerícolas para ilustrar a complexidade de colheita mecanizada de hortaliças:

- 1- As olerícolas, mesmo sendo de uma mesma variedade, possuem formas diferentes e são frágeis aos danos, devendo ser estudadas sobre suas características geométricas e físicas para projetar as colhedoras;
- 2- A colheita em uma única operação frequentemente causa danos, mas em contrapartida melhora a eficiência da colheita das hortaliças;
- 3- Normalmente as colhedoras são muito específicas para cada tipo de olerícola, o que tornam pouco versáteis, além de terem custo alto de aquisição;
- 4- O desenvolvimento de colhedoras é mais viável do que robôs de colheita porque, em geral, estes são pouco eficientes.

i. Regulagens da colhedora de cenoura

O desenvolvimento de colhedoras de cenoura mais eficientes ainda está em construção e os mecanismos mecânicos, muitas vezes, ainda são protótipos. Por este motivo, os testes com diferentes regulagens também são incipientes. Os estudos vêm caminhando lentamente com as melhorias das colhedoras de cenoura.

O bom funcionamento de todas as partes da máquina trabalhando conjuntamente efetiva a qualidade da operação (Tang et al., 2021). As regulagens devem ser exploradas para que a colheita seja feita da melhor forma possível para reduzir os danos e perdas. Nas colhedoras a velocidade de atuação do mecanismo de separação é ajustável, mas a vibração gerada pela rotação do cortador leva ao desgaste rápido do disco de corte e este reduz sua capacidade (Tang et al., 2021). Estudos futuros devem procurar dispositivos de corte que consideram a vibração mecânica para melhorar a qualidade geral da colheita (Li

et al., 2019). Em solos leves, recomenda-se semear as sementes de forma mais espaçada (cerca de 0,06 m) para que a colheita mecanizada seja facilitada (Leszczynski, 2011).

De acordo com o estudo de Cembali et al. (2008), para garantir que a cenoura seja fixada na parte aérea e arrancada do solo de forma suave, a velocidade da plataforma de fixação e transporte da cenoura deve ser maior que a velocidade linear da colhedora, ou seja, maior que $0,7 \text{ m.s}^{-1}$. No processo de separação da parte aérea da raiz durante o corte, para evitar que as raízes sejam destacadas da parte aérea precocemente e serem perdidas, a força de tração que move a plataforma de fixação e transporte deve ser menor que a força de tração da parte aérea (Tang et al., 2021). Zeng et al. (2018) destacaram que o ângulo de corte do disco deve ser inferior a 87° , estando na faixa de variação entre 0 a 55° para que o corte seja preciso.

Os danos às raízes por irregularidade de corte é o principal fator que determina a valorização das raízes no mercado (Wang et al., 2017). Tang et al. (2021) estudaram a velocidade de rotação do transportador e disco de cortes. Concluíram que a rotação de 102 rpm do transportador e 165 rpm do disco de corte, os danos foram de 1,97%, a eficiência de corte de 92,82% e a planicidade da superfície de corte foi de 89,59%.

É necessário desenvolver sistemas de controle inteligentes para as regulagens da colhedora de cenoura. Isso é totalmente possível com o uso de sensores e aprendizado de máquina (*machine learning* - ML) que serão discutidos na seção Colheita e inteligência artificial.

ii. Danos nas raízes provocados pela colheita mecanizada mal regulada

Os danos na cenoura são fatores importantes que determinam o preço da raiz no mercado. Eles também são chaves para avaliar o desempenho das colhedoras. Os danos podem chegar a 45% (Furtak e Swic, 1986). Entretanto, com o aprimoramento das máquinas e identificação de parâmetros operacionais, tais danos foram sendo reduzidos a 10% (Kowalczuk e Leszczyński, 2005) ou até mesmo abaixo de 2% (Kowalczuk e Leszczyński, 2009). Algumas propriedades mecânicas da cenoura como pressão de contusão, quebra por flexão e cisalhamento já foram determinadas para projetar novas colhedoras e evitar perdas (Jahanbakhshi et al., 2018).

Outro tipo de dano é a quebra das raízes. A porcentagem destes danos reduz se o elevador que transporta as raízes até o compartimento de armazenamento tiver altura de 1 m e a queda é amortecida (Furtak e Swic, 1986; Kowalczuk e Leszczyński, 2005;

Kowalczuk e Leszczyński, 2009). Leszczynski (2011) estudou o desempenho de uma colhedora Dewulf de uma linha montada em trator com um elevador P3K em termos de qualidade da colheita e concluiu que:

- 1- Há redução da porcentagem de perdas de raízes que são deixadas ou perdidas após a colheita mudando a modo de semeadura;
- 2- A colhedora Dewulf não causou fraturas longitudinais e ocasionou 2,4% de quebras;
- 3- A unidade de cobertura da Dewulf funciona bem em canteiros longos e bem-preparados.

As elevadas perdas de alimentos são ocasionadas não só na colheita, mas também durante a produção e transporte após a colheita principalmente por falta de tecnologia e infraestrutura (Porter et al., 2016). As diferenças são significativas entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento em relação às técnicas de preparo de solo, cultivo e colheita e o acesso à tecnologia, e estas definem a perda dos alimentos (Porter et al., 2016).

iii. Perda de solo na colheita

É importante considerar a perda de solo na colheita principalmente em culturas subterrâneas como a cenoura em que esta é colhida e uma quantidade considerável do solo fica aderido a ela. Os atributos do solo devem ser conhecidos porque participam diretamente na intensidade em que as perdas ocorrem no momento da colheita (Ruysschaert et al. 2004).

Em locais com intenso plantio de cenoura em várias safras no ano, como a região de São Gotardo-MG, as perdas podem se tornar ainda mais preocupantes. Parlak et al. (2016) observaram perda de solo na colheita manual de $22,4 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{colheita}^{-1}$ e $14 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{colheita}^{-1}$ na colheita mecanizada da cenoura. A colheita de culturas subterrâneas pode causar erosão do solo ao atuar intensivamente no solo e esta temática é frequentemente negligenciada (Ruysschaert et al. 2004).

iv. Colheita e inteligência artificial

Exposto todas as nuances no que diz respeito às singularidades da colheita mecanizada de cenoura, a inteligência artificial pode auxiliar no enfrentamento de alguns desafios. *Machine learning* é uma ferramenta poderosa da IA que analisa banco de dados

massivos e multidimensionais, podendo otimizar processos no manejo da cultura a partir de matrizes complexas (Ashapure et al., 2020). Esta ferramenta, aliada a diferentes sensores acoplados às máquinas, pode permitir a coleta de dados de perdas e danos nas raízes a fim de ajustar regulagens automaticamente. Além disso, com a IA pode-se imputar dados do solo, clima, bandas espectrais e outros parâmetros para que padrões sejam criados. A partir deles, a máquina é treinada e aprende ao longo do tempo com novas experiências e assim pode potencializar a eficiência das suas atividades no campo. Visto que a qualidade das raízes de cenoura é fator determinante na comercialização, esta tarefa pode impulsionar a colheita mecanizada desta olerícola.

As fazendas inteligentes integram tecnologia de informação e comunicação, Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), *big data* (grande volume de dados) e IA. A aquisição volumosa de dados e conectividade com a internet são bases da agricultura digital, o que incentiva ainda mais o uso de IA no campo e tem reduzido os custos de produção e impactos ambientais (Ouafiq et al. 2022). A IoT tem sido utilizada para o gerenciamento inteligente da agricultura (Chung et al., 2019; Islam et al., 2020; Glarpudis et al. 2020; Feng et al., 2019; Shi et al., 2019; Bacco et al., 2018; Khanna e Kaur, 2019). Dessa forma, o homem pode cultivar plantas e colher as de forma mais eficiente (Moon et al., 2021). Essa abordagem tem sido difundida entre os produtores porque melhora o rendimento da lavoura, qualidade dos produtos e planejamento das atividades da propriedade, além de reduzir a mão-de-obra (Shin e Jeon, 2020) que tem sido cada vez mais escassa.

Rede de sensores sem fio também vem melhorando a eficiência no campo (Capello et al., 2016; Fang et al., 2014; Hashim et al., 2015; Kodali et al., 2014). Eles ajudam no monitoramento das variáveis de campo e biomassa das plantas (Muangprathub et al., 2019). Também podem ser utilizados para avaliar condições de temperatura, umidade, vibrações ou choques durante o transporte dos produtos (Pang et al., 2015). Nesse sentido, podem ser úteis para monitorar toda a colheita mecanizada e definir onde as raízes de cenouras podem estar sofrendo maiores danos dentro da máquina no processo de colheita. Além disso, eles também podem determinar se a colheita das raízes está sendo feita no momento ideal (Ndzi et al., 2014). O uso da tecnologia no campo da agricultura tem aplicações infinitas que possibilitam a melhoria do rendimento e qualidade das colheitas reduzindo não só o gasto com a operação (Muangprathub et al., 2019), mas podem monitorar estatisticamente os processos agrícolas (Fang et al., 2014; Kodali et al.,

2014).

v. Operação de colheita e a qualidade final do produto cenoura

O processo de colheita para culturas especiais como a cenoura requer mão-de-obra bem treinada para colhê-las, classificá-las e embalá-las cuidadosamente para não causar danos (Astill et al., 2020). A programação da colheita deve ser feita para que recursos humanos e maquinários estejam prontamente utilizáveis de modo que a colheita deve ser feita da melhor forma e com menores perdas possíveis.

A indústria agrícola vem sofrendo com a redução da mão-de-obra de trabalhadores rurais (Onishi et al., 2019) que é um dos recursos importantes para culturas colhidas manualmente. Com a redução da disponibilidade da força de trabalho, aumenta-se o custo com a colheita manual e demanda-se a mecanização. Com a mecanização a rotina dos trabalhos de campo tornam-se mais viáveis (Astill et al., 2020).

A colheita manual da cenoura é a mais utilizada, sendo extremamente árdua devido a necessidade do esforço do trabalhador rural para o arranquio das plantas em uma posição desfavorável (agachado ou de cócoras). A colheita manual da cenoura, nesse sentido, é prejudicial porque pode causar patologias principalmente na região lombar por movimentos repetitivos e posição de trabalho (Queiroz et al., 2015).

A ergonomia do trabalho é um assunto de extrema importância e deve ser discutido para adequar o ambiente de trabalho à psicofisiologia humana (Macedo, 2014). Na revisão de Fathallah et al. (2008) estimou-se que mais de 100 milhões de trabalhadores em todo o mundo são expostos ao trabalho curvado na agricultura. Ainda não há estudos que relatam os impactos da colheita manual da cenoura à saúde e bem-estar dos trabalhadores rurais.

A postura corporal que uma pessoa adota durante o trabalho tem um impacto significativo não só na sua saúde, conforto de trabalho e produtividade, mas também na qualidade do fruto que é colhido (Komarnicki e Kuta, 2021). As condições de trabalho determinam a eficiência e qualidade do trabalho.

A qualidade sensorial da cenoura também pode ser afetada pelo modo de colheita. Seljåsen et al. (2001a) mostraram que a cenouras agitadas a mão tiveram pontuação de sabor e odor de terpeno maior e acidez menor do que cenouras agitadas mecanicamente. Estes autores não encontraram diferenças significativas em relação a doçura, amargor e sabor residual. A taxa de respiração e produção de etileno também foi maior devido ao estresse mecânico e danos na casca da raiz. Porém, a colheita mecanizada não causou

alterações químicas e sensoriais significativas em comparação a manual.

De forma geral, os desafios desta temática podem ser apontados para nortear pesquisas futuras:

- 1- A cenoura é uma cultura chave devido à alta gama de utilização para a alimentação e benefícios à saúde humana, fabricação de diversos produtos e reutilização de resíduos para a geração de energia sustentável;
- 2- A colheita manual é um ponto crítico por ocasião da redução de mão-de-obra e pressão social para a melhoria das condições de trabalho no campo;
- 3- A colheita mecanizada vem como alternativa para melhores parâmetros de trabalho e eficiência operacional, entretanto carece de melhores ajustes e regulagens para reduzir os danos nas raízes e no impacto no solo.

2.8 Monitoramento das características de produtividade e qualidade da cenoura via sensoriamento e inteligência artificial

As ferramentas de monitoramento das características de produtividade e qualidade da cenoura são essenciais para a tomada de decisão no campo. A investigação da variação da produtividade e qualidade da cenoura em campo pode ser capaz de delimitar unidade de gestão diferenciada (UGD) e até mesmo definir locais com maior potencial produtivo da cultura para os diferentes usos comerciais. Definir locais com maior potencial produtivo para o cultivo é crucial para maximizar a eficiência agrícola. Isso resulta em maior produtividade, melhor qualidade do produto, uso eficiente de recursos, redução de riscos, rentabilidade financeira e desenvolvimento de estratégias agrícolas mais eficazes, contribuindo para práticas sustentáveis e atendimento às demandas do mercado. As áreas definidas com produção de cenouras de maior conteúdo de açúcares podem ser direcionadas para a produção de energia ou maior valorização no mercado consumidor. Além disso, prever a produtividade e qualidade de cenoura antes da colheita permite negociação futura.

Diferentes abordagens preditivas de parâmetros das culturas por meio de sensoriamento remoto e inteligência artificial estão sendo exploradas na literatura (Wei et al., 2020; Suárez et al., 2020; Suárez et al., 2023). O SR tem ganhado espaço e empregabilidade na agricultura pelas suas diversas aplicações. Trata-se de coletar dados sobre a superfície terrestre por meio de sensores instalados em satélites ou aeronaves remotamente pilotada. Por meio desta, é possível monitorar a lavoura, controlar ervas

daninhas, identificar a sanidade da cultura e prever a sua produtividade de maneira não destrutiva (Stamford et al., 2023).

Experimentos científicos têm coletado dados do dossel das culturas para realizar investigações de campo (Stamford et al., 2023). Os índices de vegetação (IVs) são calculados por equações a partir das bandas espectrais (Rasmussen et al., 2016). Com os IVs pode-se criar modelos matemáticos que mapeiam o comportamento de uma cultura no espaço e no tempo para entender os fenômenos biológicos da cultura que interferem na produtividade e seus atributos qualitativos desejados. Em seus estudos Wei et al. (2020) não observaram relação linear entre bandas espectrais com a produtividade da cenoura, isso endossa que os fenômenos agrícolas não seguem um comportamento padrão, ou seja, são não-lineares. Por isso a aplicação de *random forest* (RF) é favorável para a modelagem a despeito de modelos lineares como *regressão linear múltipla* (RLM). Os autores identificaram que a refletância da banda Infra vermelho próximo (NIR) aumentou durante o crescimento da cultura e as bandas do vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*) diminuíram aos 40 dias após a semeadura (DAS) devido a fase de crescimento das raízes.

As previsões de produtividade das culturas são influenciadas pelas condições climáticas durante o desenvolvimento das plantas (Mkhabela et al., 2011). A correlação entre os índices vegetativos (IVs) e a produtividade varia ao longo do ciclo da cultura (Mkhabela et al., 2011). Portanto, não é aconselhável depender apenas de uma data fixa para modelar a produtividade das culturas utilizando sensoriamento remoto (Mkhabela et al., 2011). É muito importante realizar previsões de produtividade antecipadas e acompanhar o desenvolvimento da cultura ao longo de todo o ciclo. Quanto mais cedo e precisa for a informação gerada, maior será seu valor.

O monitoramento de culturas geocárpicas, como a cenoura, apresenta desafios adicionais devido ao fato de que o órgão de interesse se estabelece abaixo do solo, exigindo sua extração para amostragem (Tedesco et al., 2021a). Além disso, as previsões de produtividade são frequentemente feitas indiretamente pela análise da refletância da parte aérea das plantas, em vez da raiz. As mudanças ao longo do ciclo da cultura podem ser identificadas por meio de imagens hiperespectrais. No entanto, o nível de ruído presente nos sinais capturados pelos sensores remotos é um desafio significativo a ser enfrentado (Vaiphasa, 2006). Além do ruído, variações na intensidade da luz e condições atmosféricas podem interferir no sinal e comprometer a precisão da captura da refletância da vegetação pelo sensor (Lyon, 2004). Madugundu et al. (2018) ressaltaram a dificuldade

em obter imagens de satélite durante períodos chuvosos. Apesar desses desafios, eles concluíram que ainda era possível realizar previsões de produtividade da cenoura utilizando técnicas como Random Forest (RF) e análise de bandas espectrais em períodos sem nuvens.

Os sistemas agrícolas que utilizam modelagem com aprendizado de máquina podem aprimorar a eficiência em diversas áreas (Subeesh e Mehta, 2021). O aprendizado de máquina impulsiona o crescimento produtivo de maneira sustentável, ajudando na interpretação e correlação de informações de campo por meio de técnicas computacionais, o que pode contribuir significativamente para aprimorar a eficácia das decisões nas lavouras principalmente para culturas subterrâneas, que o produto de interesse é avaliado indiretamente por meio da parte aérea (Tedesco et al., 2021a; 2021b). Embora trabalhos de modelagem para prever a produtividade da cenoura tenham sido conduzidos por outros pesquisadores (Suarez et al., 2020; Wei et al., 2020), raramente se aborda a qualidade das raízes. Até o momento, não há estudos que tenham investigado de forma abrangente tanto a produtividade quanto a qualidade das raízes de cenoura simultaneamente. Com base nisso, o objetivo deste estudo foi estabelecer relações funcionais entre as variáveis de cultivo - incluindo massa fresca total, massa da parte aérea e das raízes, comprimento, diâmetro, teor de °Brix e firmeza das raízes - juntamente com os índices de vegetação, a fim de prever tanto a produtividade quanto a qualidade da cenoura em escala comercial.

2.9 Considerações finais da revisão

Na agricultura moderna os esforços para a maximização do aproveitamento sustentável dos recursos usados visam o aumento da produtividade e qualidade dos alimentos (Gomes et al., 2020). Há a crescente conscientização de que os produtos agrícolas também podem impactar ambientalmente além de proporcionar a oferta de alimentos. O conhecimento sobre o real significado de alimentos seguros e de qualidade aumenta a preferência de produtos frescos e com maior valor nutricional (Hopppu et al., 2020).

A produção e comércio de cenoura atendem a esses requisitos. As suas raízes proporcionam alto teor de nutrientes e compostos benéficos a fisiologia humana. É uma cultura de ciclo curto podendo ser cultivada em várias safras por ano e permite o uso dos resíduos que originam outros produtos relevantes. A produção de raízes com qualidade e

livres de contaminantes tóxicos valoriza o produto comercial e reflete na sustentabilidade, segurança alimentar e cuidados ao meio ambiente (Basso et al., 2021).

Nesta revisão foi possível identificar a dimensão da importância que a cultura da cenoura. Ela possui grande potencial para:

1- Fomentar os problemas nutricionais e de saúde humana: a composição química assegura diversos benefícios para o balanço nutricional e disponibilidade de nutrientes que conseguem prevenir e reduzir doenças.

2- Superar os desperdícios utilizando os resíduos da produção: nos descartes da cenoura pode se extrair fibras e corantes para a indústria alimentícia, compostos medicinais para a indústria farmacêutica e cosmética, é fonte de energia para a produção de biodiesel, ração animal e dieta para insetos comestíveis.

3- Mitigar problemas ambientais: utilização de resíduos, produção de combustível sustentável e incentivo aos avanços na tecnologia de produção e otimização de recursos que retornam práticas menos poluentes e que valorizam mais a produção.

Contudo, o sucesso da exploração sustentável de todo e qualquer produto agrícola requer progressivas frentes de estudos nos âmbitos produtivos, industriais, sociais e ambientais. A interdisciplinaridade entre estas frentes possibilita intermediar nuances produtivas que altera o abastecimento da cadeia de suprimentos. Este abastecimento suporta as demandas da alimentação humana e matéria-prima para diversos tipos de produtos impactando o mínimo possível o meio ambiente. A proatividade e participação de incentivos governamentais podem promover substancialmente o crescimento da agricultura sustentável

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e sistema de produção

O trabalho foi executado em duas áreas comerciais irrigadas no município de Rio Paranaíba, Minas Gerais. Sementes incrustadas de cenoura híbrido EX 4098 (Grupo Nantes tropical, com ciclo de 120 dias) foi semeado em pivôs sob Latossolo Vermelho-Amarelo com relevo suave ondulado (LVd4) em momentos distintos: 29 de agosto de 2022 (experimento 1: coordenadas -19.409256, -46.266103) e 24 de outubro de 2022 (experimento 2: coordenadas - 19.429350, -46.279611), com população final de 466.700 plantas por hectare após a desbaste (Figura 14). A escolha das áreas seguiu critérios de acessibilidade ao local de cultivo e logística do transporte das amostras de cenoura para

o laboratório da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba-MG, onde foram analisadas.

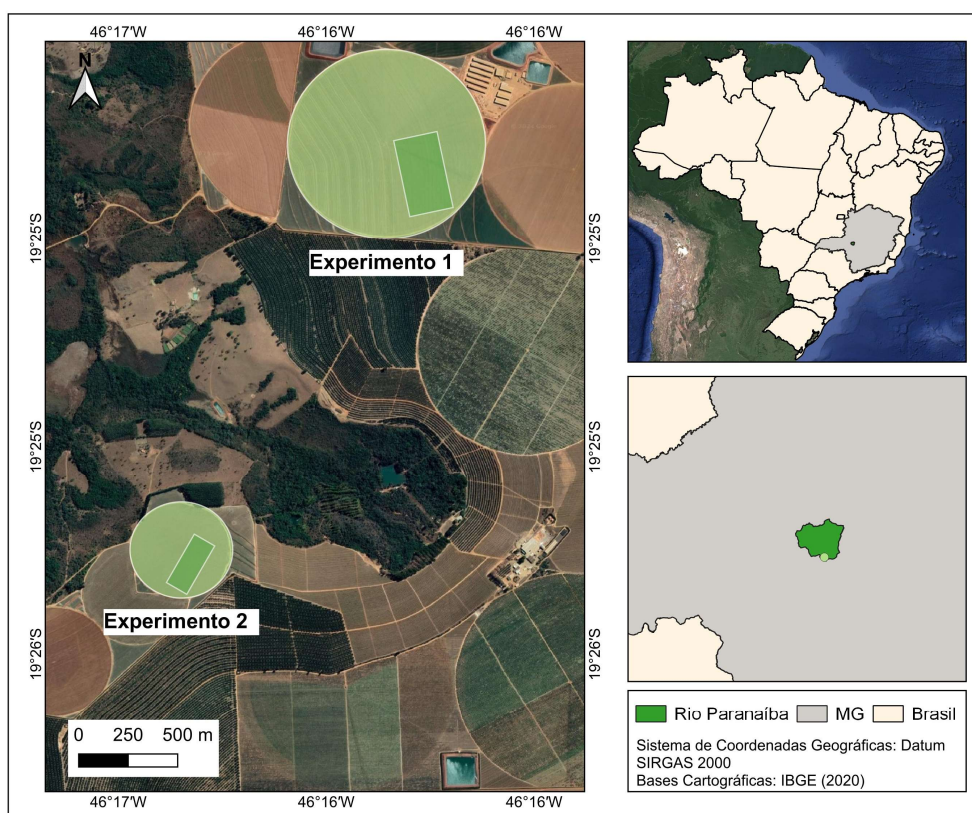


Figura 14. Experimento 1 e 2 e suas respectivas áreas úteis para as coletas de cenoura.

Os solos dos locais dos experimentos têm histórico de cultivo de mais de 30 anos com culturas anuais e é destinado na maioria do tempo para olerícolas. O perfil do solo foi preparado com subsolador (0,06 m de profundidade) e enxada rotativa com encanteirador (0,015m de profundidade) para a semeadura. A análise química do solo dos experimentos é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9. Análise de solo dos experimentos 1 e 2.

Descrição	pH água	P(res)	P(melh)	P(rem)	S	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	M.O.	C.O.
		mg.dm ⁻³ (ppm)					cmolc.dm ⁻³						g.dm ⁻³
Experimento 1	6.8	115	13.6	16.3	6	0.15	5.7	2.2	0	ns	2.4	39	22.6
Experimento 2	6.3	274	66.6	11.9	4	0.28	5.5	1.9	0	ns	2.1	35	20.3

Descrição	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg.dm ⁻³ (ppm)				
Experimento 1	6.8	115	13.6	16.3	6
Experimento 2	6.3	274	66.6	11.9	4

No experimento 1 foi realizado a adubação com 1900 Kg/ha de 01-32-00 e manejo

fitossanitário com 17 aplicações com fungicida e 5 aplicações com inseticida. No experimento 1 foi realizado a adubação com 1300 Kg/ha de 01-30-06 e manejo fitossanitário com 18 aplicações de fungicida e 5 aplicações de inseticida.

3.2 Amostragem das raízes e avaliação biométrica da produtividade

A amostragem das raízes foi realizada aos 82 e 116 dias após a semeadura (DAS), sendo 50 pontos em cada época em ambos os experimentos, totalizando 200 pontos amostrais. As duas épocas foram escolhidas de acordo com o melhor momento para a modelagem da cultura, segundo Suaréz et al. (2023). As duas épocas de amostragem correspondem ao pleno enchimento radial (82 DAS) e a data que antecedeu a colheita da cultura para comercialização (116 DAS). Durante as duas coletas nos dois experimentos foram 1600 graus-dia e 2260 graus-dias (temperatura base de 3°C) para 82 e 116 DAS, respectivamente (Figura 15).

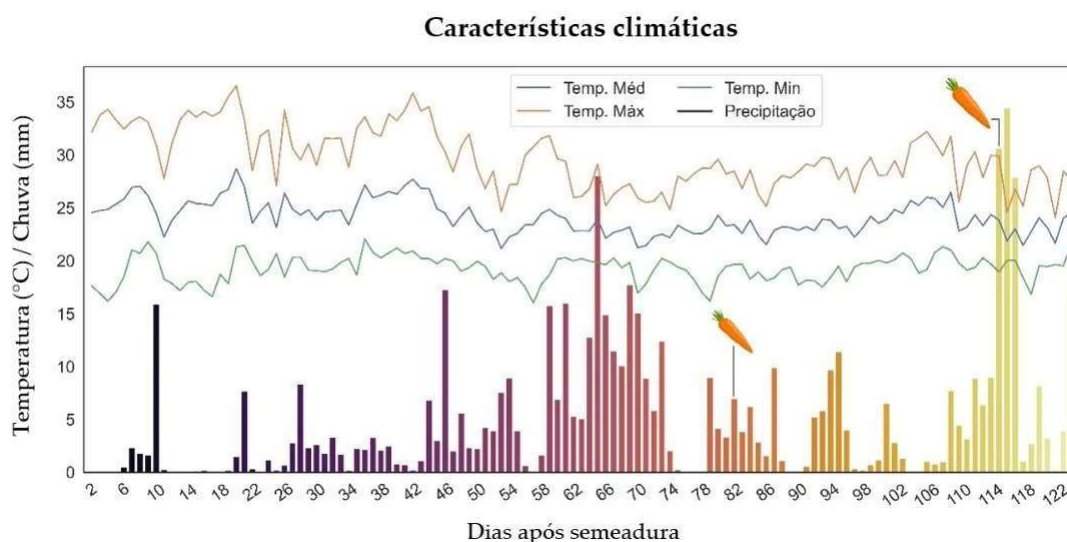


Figura 15. Dados meteorológicos médios dos Experimentos 1 e 2 em (município?) nos momentos de coleta de cenoura aos 82 DAS (1600 graus-dia) e 116 dias após semeadura (2260 graus-dia). Fonte: Nasa Power (2023).

A irrigação e tratos culturais foram monitorados diariamente de acordo com a necessidade da cultura. Um evento climático de chuva de granizo ocorreu no experimento 1 entre as coletas de 82 e 116 DAS, interferindo momentaneamente na parte aérea das plantas. Uma semana após esta chuva, com manejo nutricional, as plantas foram recuperadas. Todos os pontos amostrais das coletas de campo foram georreferenciados com GPS para a extração das imagens e respectivos índices de vegetação (IV). Os pontos

amostrais foram espaçados utilizando grade amostral de 30 m x 30 m. A grade foi definida para redução da interferência entre os pontos amostrais e imagens de satélite selecionadas para os IVs. A coleta das raízes das cenouras foi realizada manualmente dentro dos canteiros contendo quatro linhas duplas de semeadura. Um gabarito metálico de 1,60 m de comprimento e 0,155 m de largura foi utilizado para delimitar a área amostral de 0,25 m². Escolheu-se esta metragem observando-se a massa da amostra para que fosse representativa e facilitasse a operação de coleta em campo (Figura 16).



Figura 16. Coleta manual de cenoura com gabarito metálico de 0,25 m². Fonte: A Autora (2022).

A partir das cenouras coletadas na área delimitada foram determinadas a biomassa fresca total, a biomassa da parte aérea e das raízes separadamente. A parte aérea e raízes foram destacadas rente à base da raiz com auxílio de uma faca. Para a aferição da biomassa utilizou-se uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 g (gramas). A produtividade foi extrapolada a partir da massa em gramas pela área de 0,25 m² determinada para caixas por hectare (caixa de 29 kg, padronização comercial de cenoura suja do campo antes do processo de lavagem).

Em seguida, foi realizada a subamostragem de três cenouras por ponto amostral para a análise biométrica do comprimento e diâmetro de raiz. Estas raízes seguiram para laboratório para análise qualitativa.

3.3 Análise qualitativa das raízes

As cenouras subamostradas foram higienizadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados, sendo armazenadas em refrigeração a 2 °C para evitar a perda de suas características. As leituras de sólidos solúveis totais (°Brix) e firmeza para análise da qualidade foram realizadas dois dias após a coleta das três cenouras por ponto amostral para obter uma média de °Brix por ponto amostral. Para a análise de sólidos solúveis totais (SST ou °Brix), utilizou-se o método do índice de refração (Adolf Lutz, 1985). Esta determinação foi direta por meio de um refratômetro digital portátil modelo VX0-90 (precisão de 0,2%) com compensação de temperatura automática para 20 °C. A leitura do líquido da cenoura, puro e sem diluição, foi feita após maceração, sendo expressa em porcentagem (Adolf Lutz, 2005). A avaliação da firmeza das raízes também utilizou método direto com penetrômetro portátil modelo MOD. PTR-300 (precisão de 0,5%) equipado com ponteira de 8 mm de diâmetro

(Calbo e Carmelo, 2017). Foram realizadas três leituras próximo à base das raízes para o cálculo da média de firmeza por ponto amostral e os resultados foram expressos em Newton (N).

3.4 Aquisição e processamento das imagens de satélite

As imagens de satélite foram usadas para estabelecer relações entre as variáveis biométricas e qualitativas das raízes das plantas e os índices de vegetação no período da coleta. A aquisição das imagens de satélite se deu a partir do sensor da plataforma PlanetScope CubeSat. Esta plataforma é constituída por 148 diferentes tipos de nanosatélites em órbita com alta resolução espacial e temporal. Estes satélites captam imagens em RGB nos comprimentos de onda 618 a 780 nm no espectro de vermelho, 497 a 570 nm no verde, 427 a 476 nm no azul e acima de 700 nm no infravermelho diariamente em qualquer localidade do globo com resolução espacial de 3,0 m e resolução espectral igual a quatro bandas (Planet Team, 2019). As imagens dos pontos georreferenciados foram requisitadas e posteriormente baixadas para o cálculo e análise dos índices de vegetação desejados a partir das bandas espectrais disponíveis.

A desvantagem desta ferramenta é a possível ocorrência de nuvens na região estudada na época de coleta de dados *in loco*. Dessa forma, preconizou-se o intervalo de no máximo de 3 a 5 dias antes da coleta das amostras em campo para a extração dos

índices de vegetação. Os IVs utilizados foram o NDVI (normalized difference vegetation index), SAVI (soil adjusted vegetation index), EVI (enhanced vegetation index) e RDVI (vegetation index for the region). Estes IVs foram escolhidos por serem largamente utilizados em estudos agrônômicos em diversas culturas, principalmente para culturas subterrâneas. Os valores dos IVs foram extraídos de cada ponto amostral georreferenciado e processado no software QGIS 3.4 (Tabela 10).

Tabela 10. Índices de vegetação utilizados na modelagem da produtividade e qualidade da cenoura

Índices de vegetação	Equação	Referências
Índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Rouse et al. (1974)
Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED} * (1 - L)$	Huete et al. (1988)
Índice de vegetação melhorado (EVI)	$G * \frac{NIR - RED}{(NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L)}$	Huete et al. (2002)
Índice de vegetação por diferença renormalizada (RDVI)	$NIR - RED$	Roujean e Breon (1995)

NIR= infravermelho; RED= vermelho; BLUE= azul; L= 1,0; G= 2,5; C1= 6; C2= 7,5.

3.5 Análise de componentes principais (PCA)

A PCA fundamenta-se na estatística multivariada para analisar e interpretar as inter-relações entre variáveis de acordo com as suas dimensões (Gocic e Trajkovic, 2014). Cada variável considerada na análise torna-se um componente. Os componentes podem ser extraídos por matriz de covariância ou matriz de correlação. A PCA é uma estatística linear não paramétrica mais utilizada para compreender e ortogonalizar o conjunto de dados (Qaisrani et al., 2024). Esta análise foi realizada para filtrar as variáveis mais importantes da produtividade e qualidade, objetivando-se perda mínima de informação e modelagem da cultura da cenoura. Desta forma, a PCA foi realizada no software R e selecionou as variáveis que foram utilizadas nos algoritmos de regressão de múltiplas saídas para prever a produtividade e a qualidade da cenoura.

3.6 Modelagem da cenoura

Anteriormente à submissão do banco de dados para a modelagem da cenoura realizou-se a aferição da qualidade dos dados, retirando-se os 'outliers' dispersos na massa de dados pontos observados no PCA para as análises posteriores de correlação entre as variáveis. Após a retirada dos pontos disprepantes, os dados foram normalizados para o treinamento e teste. Para prever a produtividade e a qualidade da cenoura por índices de vegetação e biometria das raízes, foram utilizados algoritmos de regressão de múltiplas saídas: multilayer perceptron regressor (ANN), random forest (RF) e regressão linear múltipla (RLM). Para o treinamento e a validação dos modelos preditivos separou-se os dados por época de amostragem (82 e 116 DAS) que, posteriormente, foram divididos aleatoriamente em 70% e 30%, respectivamente, como forma de reduzir o enviezamento e superajuste dos modelos. Este procedimento foi realizado para que se tivesse pontos de calibração dos modelos nas duas épocas amostrais. No processo de treinamento de todos os modelos procedeu-se a validação cruzada para teste e verificação do desempenho da previsão da produtividade e qualidade.

ANN é uma técnica de machine learning supervisionada que faz uso de neurônios artificiais capazes de aprender padrões em um conjunto de dados a partir de exemplos ajustando pesos entre as conexões dos neurônios de acordo com os dados de treinamento. Esta modelagem otimiza o desempenho da correlação estudada (Mas e

Flores, 2008).

O algoritmo RF também é um modelo supervisionado comumente utilizado para melhorar a acurácia de um modelo preditivo com a junção de outros modelos mais simples (Breiman, 2001). No modelo são definidos o número de árvores e o número de variáveis de previsão em cada nó (Zhu, et al., 2016).

RLM é considerada uma técnica que analisa a relação de um sistema com variáveis preditoras com uma única variável critério (Aiken et al., 2003), tendo sucesso na modelagem de processos biológicos (Myers, 1990) Sua estrutura é descrita equacionando uma regressão na estimativa dos coeficientes de regressão, medidas de ajuste geral do modelo e a contribuição das variáveis preditoras individuais (Aiken et al., 2003).

As eficiências dos modelos foram avaliadas por meio da precisão (R^2), erro quadrado médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE). Toda a modelagem foi feita por linguagem Python 3.12.0 na interface JupyterLab utilizando as bibliotecas Numpy, Pandas, Scipy Stats e Scikit-learn.

4 RESULTADOS

4.1 Normalidade dos dados de produtividade da cultura

A massa fresca total das plantas de cenoura esteve dentro da curva de normalidade com R^2 de 0,94 (Figura 17).

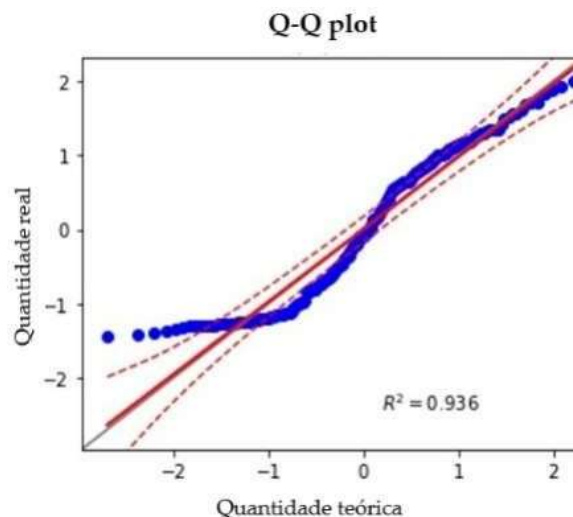


Figura 17. Dispersão dos dados de massa fresca na distribuição normal.

4.2 Qualidade das raízes

A PCA mostrou que os dados coletados nas áreas experimentais de cenouras para as variáveis qualitativas e quantitativas nas diferentes datas explicaram 89,4% da variação da cenoura no campo, estando acima do limite crítico de 80% para PCA (Jolliffe e Cadima, 2016) (Figura 18).

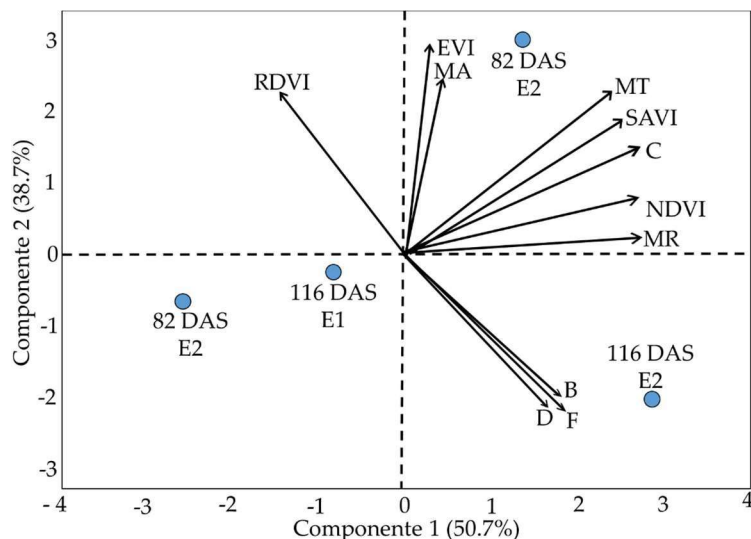


Figura 18. Análise de componentes principais para os experimentos 1 e 2 aos 82 e 116 dias após a semeadura de cenoura em condições de campo.. MT- massa total; MA- massa da parte aérea; MR- massa de raiz; C-comprimento de raiz; D- diâmetro de raiz; B- brix e F- firmeza.

As variáveis que são correlacionadas com CP1 e CP2 são as mais importantes para explicar a variabilidade no conjunto de dados (Tabela 1, Apendice). A PCA também evidenciou a influência temporal na disposição e estruturação de autovalores e autovetores de acordo com a época de coleta. Para o componente 1, houve correlação forte para o NDVI aos 116 DAS no experimento 2, onde contribuiu mais efetivamente para a caracterização da variável massa de raiz. O SAVI obteve os melhores resultados aos 116 DAS para a área experimental 2 para as variáveis quantitativas massa total e comprimento de raiz.

Na componente 2, o EVI teve correlação forte positiva aos 82 DAS para a área experimental 2. O RDVI e os autovetores das variáveis, diâmetro de raiz, °brix e firmeza moveram-se em direção aos quadrantes que consistem em baixa carga (correlação entre variável e componente principal), tendo pouco poder explicativo, independentemente da época de coleta.

O melhor desempenho das variáveis no experimento 2 pode ser explicado por que no experimento 1 ocorreu uma chuva de granizo entre as coletas de 82 e 116 DAS. Isto pode ter comprometido a modelagem da qualidade das raízes da cultura. Nenhum dos modelos de aprendizado de máquina conseguiu prever com precisão a qualidade das raízes de cenoura neste estudo. Observando as variáveis de °Brix e Firmeza no

resultado gerado pela PCA, estudos futuros podem ser desenvolvidos concentrando as coletas das amostras no final do ciclo da cultura.

4.3 Correlação entre as variáveis

O gráfico de correlação indicou que os IVs SAVI e NDVI destacaram-se significativamente em relação às variáveis de produtividade (massa de raiz) e qualidade da cenoura (firmeza) (Figura 19).

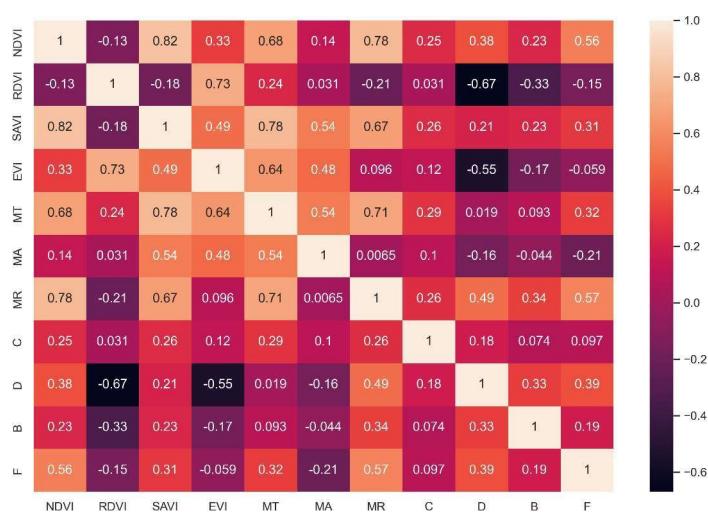


Figura 19. Correlação entre todas as variáveis estudadas. MT- massa total; MA- massa aérea; MR- massa de raiz; C- comprimento de raiz; D- diâmetro de raiz; B- brix e F- firmeza.

A produtividade da cenoura obteve altas correlações com SAVI e NDVI. A massa total da planta correlacionou-se em 78 e 68%, respectivamente, pelo SAVI e NDVI. Já para a variação da massa de raiz para a previsão da produtividade da cultura o SAVI e NDVI correlacionaram em 67 e 78%, respectivamente. A massa de raiz esteve associada em 71% à massa total e 49% ao diâmetro de raiz. O comprimento de raiz obteve baixa correlação para a aferição da produtividade e qualidade das raízes para todas as variáveis estudadas. A análise revelou que as variáveis qualitativas °Brix e firmeza não apresentaram correlação significativa entre si. Além disso, observou-se uma baixa associação desses parâmetros com a massa da raiz da cultura.

4.4 ANN – *Multilayer perceptron regressor*

O modelo ANN mostrou-se preciso na previsão da produtividade da cultura da cenoura, no qual o desempenho do modelo após treinamento foi de R^2 0,68 e RMSE de 23,80 caixas.ha⁻¹ (Figura 20).

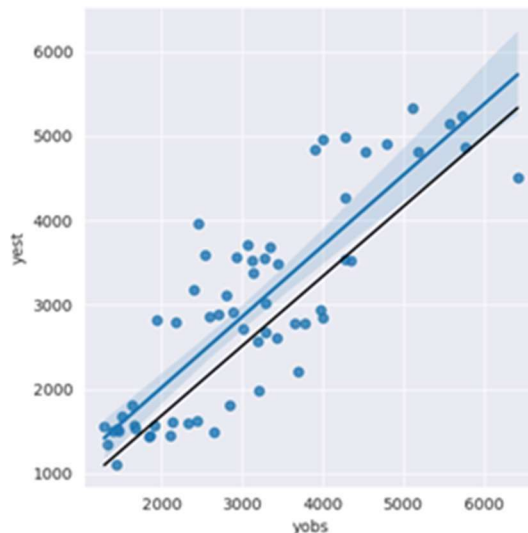


Figura 20. Desempenho do modelo ANN após o treinamento e teste.

Para o treinamento e o teste do modelo selecionou-se o SAVI e NDVI, os quais obtiveram melhores correlações com a produtividade. Estes IVs são apontados como capazes na derivação das relações entre as características intrínsecas da morfofisiologia e componentes de produção, monitorando as variações das culturas subterrâneas no campo (Tedesco et al., 2021b).

4.5 RF – *Random forest*

Para o treinamento e teste do modelo RF também foram filtrados os melhores IVs. O índice SAVI também se destacou pela maior capacidade de ajuste do modelo. O desempenho de RF foi de R^2 0,67 e RMSE 23,93 caixas.ha⁻¹ (Figura 21).

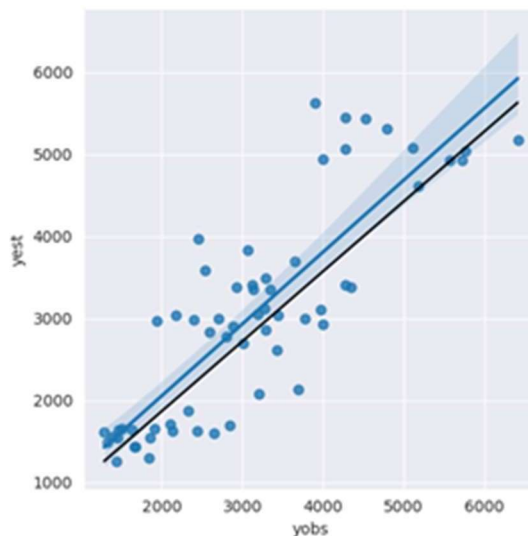


Figura 21. Desempenho do modelo RF após o treinamento e teste.

RF também está de acordo com os coeficientes encontrados na literatura para culturas subterrâneas como a cenoura (Abbas et al., 2020; Madugundu et al., 2018). Novamente, o índice SAVI apresentou ser indicado para previsão de produtividade da cenoura.

4.6 RLM – Regressão linear múltipla

O modelo RLM, após treinamento, teve desempenho de R^2 0,61 e RMSE de 24,31 caixas.ha-1 (Figura 22).

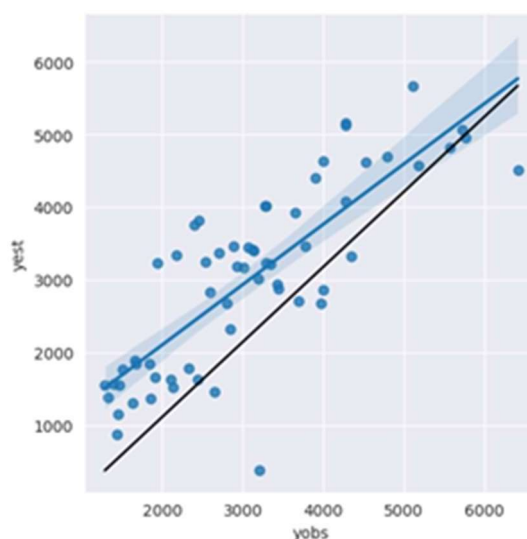


Figura 22. Desempenho do modelo RLM após o treinamento e teste.

A vantagem deste modelo é a sua estruturação simples dos preditores (variáveis estudadas) para a construção da regressão que explica a produtividade da cenoura (equação da previsão da produtividade). Entretanto, apresenta a desvantagem da ocorrência de multicolineariedade. Este fator implica em alto grau de correlação entre as variáveis independentes (Freund et al., 2006), o que impacta na estimativa dos coeficientes de regressão (Montgomery et al., 2006).

4.7 Comparação do desempenho dos modelos

Em ordem decrescente pelo desempenho dos algoritmos na predição de produtividade, o modelo ANN foi superior, seguido pelos modelos RF e RLM (Tabela 11).

Tabela 11. Métricas de desempenho do teste dos modelos ANN, RF e RLM.

Modelo	R ²	MAE	RMSE
ANN	68	566,64	23,80
RF	67	572,47	23,93
RLM	61	591,22	24,21

R²= precisão; MAE= erro absoluto; RMSE= erro quadrado médio.

Algoritmos de aprendizado de máquina são continuamente empregados para a construção de modelos que preveem a produtividade das culturas. Não há conclusões definitivas sobre o modelo de melhor desempenho, entretanto modelos mais complexos como o ANN se destacam (Pham et al., 2022). Os três modelos aqui utilizados são comumente aplicados na literatura (Van Klompenburg et al., 2020). Apesar do modelo ANN ser considerado ineficaz em escala sub-regional com dados relativamente limitados (Pham et al., 2022), o resultado encontrado neste trabalho mostrou que o modelo conseguiu modelar a produtividade com maior precisão se comparados ao RF e RLM. R² acima de 0,5 em modelagem de culturas subterrâneas não são sempre encontrados na literatura utilizando VIs para prever a produtividade de culturas subterrâneas, mesmo com o uso de ML (Wei et al., 2020).

5 DISCUSSÕES

5.1 Correlação das variáveis

O índice SAVI destacou-se também em outros estudos realizados com culturas que apresentam baixa área de cobertura vegetativa no início do ciclo e órgão de estudo posicionado abaixo do solo. O bom desempenho da correlação do SAVI com as avaliações de massa total e massa de raiz neste estudo está ligado à correção da reflectância do solo, a qual pode mascarar a reflectância real da cobertura vegetal da cultura (Huete, 1988). Desta forma, na cenoura que é uma cultura subterrânea e possui crescimento inicial lento, este IV pode ser aliado para investigações não destrutivas.

O NDVI é muito utilizado e bem difundido na ciência e também se mostrou um bom índice de vegetação para o estudo da produtividade da cultura da cenoura. Há uma forte correlação entre o NDVI e a produtividade das culturas, em que se ajustar a reflectância do solo esta correlação tende a aumentar (Madugundu et al., 2018; Metiva et al., 2023; Suarez et al., 2020; Tedesco et al., 2021a). A estimativa da produtividade das culturas a partir de dados de sensoriamento remoto requer a coleta de dados na fase correta para a previsão precisa da produtividade da cultura.

A ausência de correlação entre as variáveis de qualidade, representadas pelo °Brix e firmeza, contraria o esperado, pois, o teor de sólidos solúveis totais (°Brix) está associado à presença de açúcares, enquanto a firmeza é considerada uma medida da textura do alimento. A baixa correlação observada sugere que outros fatores, não totalmente explorados neste estudo, podem ter uma influência significativa nessas características. A limitada capacidade explicativa dessas variáveis na modelagem da qualidade da cenoura destaca a complexidade envolvida na determinação do °Brix e da firmeza. Esses aspectos, essenciais para a definição da qualidade das raízes de cenoura, demandam uma investigação mais aprofundada em estudos subsequentes. A diversidade de fatores que podem impactar essas características, como composição bioquímica, condições ambientais e genética da planta, precisa ser mais amplamente considerada.

Para aprimorar a compreensão desses atributos, é recomendável explorar metodologias alternativas de leitura do °Brix e firmeza. A simplicidade e rapidez da leitura do °Brix no refratrômetro são vantagens, mas é crucial padronizar a época de coleta do alimento e garantir a correta calibração do equipamento. A aplicação de práticas já estabelecidas para frutas e outros alimentos, conforme sugerido por Jaywant et al. (2022), pode ser uma abordagem valiosa nesse sentido. Dessa forma, seria possível obter dados

mais confiáveis e comparáveis ao longo do tempo. A falta de uma metodologia clara e específica para a avaliação das raízes de cenoura reforça a necessidade de desenvolver diretrizes específicas para essa cultura. A investigação de abordagens mais especializadas e a consideração de múltiplos fatores influentes podem contribuir para um entendimento mais completo e preciso da qualidade das raízes de cenoura.

A massa de raiz e diâmetro correlacionaram em 49%. O diâmetro das raízes de cenoura é diretamente e linearmente proporcional a sua biomassa total e a produtividade das raízes (Reid e Gillespie, 2017). Já o comprimento é determinante na classificação de mercado (Brainard et al., 2022). Este parâmetro não explicou a produtividade de raízes, implicando que maiores produtividades provêm de raízes de maiores calibres (diâmetro), não necessariamente de raízes de maior comprimento (Reid e Gillespie, 2017).

A aferição da biometria, assim como as características da qualidade, deve ser realizada em fase determinante indicada após a metade do ciclo por estar mais relacionada à produtividade final da cultura. Após a fase lenta de germinação e emergência das plântulas de cenoura, a raiz desenvolve em comprimento em relação a superfície do solo até por volta dos 45 DAS. Logo após este crescimento em profundidade, as raízes crescem radialmente e aumenta o seu diâmetro. A parte aérea se estabiliza nessa fase, enquanto as raízes crescem em diâmetro. Assim, ocorre o acúmulo das substâncias de reserva que compõe a produtividade e a qualidade na colheita. Quanto mais próximo ao final do ciclo, maior será a acurácia dos modelos preditivos porque a cultura já definiu o seu potencial produtivo, ou seja, máximo acúmulo de substâncias de reserva e tamanho ideal requerido pela classificação comercial do consumo de mesa.

5.2 Modelagem da produtividade

O destaque do modelo ANN ao prever a produtividade da cenoura em comparação com os modelos RF e RLM reforça sua eficácia neste contexto específico. O desempenho superior do ANN neste estudo não apenas se alinha com pesquisas anteriores, mas também adiciona um novo entendimento sobre a aplicabilidade desse modelo para a cultura da cenoura. Thiagarajan et al. (2013) e seu estudo envolvendo três tipos de cenoura oferecem insights relevantes para o campo, especialmente ao considerar a relação entre o volume da raiz e os fatores agroclimáticos na produtividade. No entanto, a abordagem deste estudo vai além, destacando o ANN como uma ferramenta mais precisa na previsão

da produtividade, o que pode ter implicações significativas para otimização do cultivo de cenouras. Os resultados obtidos por Tedesco et al. (2021a) ao modelar a produtividade da batata doce com RF fornecem um contexto adicional, evidenciando que diferentes culturas podem responder de maneira distinta a modelos específicos. No entanto, a superioridade do SAVI no modelo RF para a cultura subterrânea da cenoura, conforme observado neste estudo, destaca a importância de considerar variáveis específicas da cultura em questão.

A pesquisa de Wei et al. (2020) sobre a modelagem da produtividade da cenoura usando RF com bandas espectrais brutas fornece um quadro mais amplo. Embora tenham alcançado um R^2 de 0,82, o ANN neste estudo superou esses resultados, sugerindo que a aplicação do ANN pode ser mais promissora na previsão da produtividade da cenoura. Os resultados de Madugundu et al. (2018) correlacionando satisfatoriamente o SAVI com a produtividade da cenoura em modelos de regressão preditivos são consistentes com as descobertas deste estudo, fortalecendo a relevância do SAVI como indicador valioso. No entanto, a precisão do ANN neste estudo pode indicar uma abordagem mais robusta e precisa para previsões na cultura da cenoura. Os resultados de Abbas et al. (2020) ao estudar algoritmos de ML para prever a produtividade de batata, com um RMSE entre 5,97 e 6,17 t.ha⁻¹, proporcionam um ponto de referência adicional. Ao superar esses valores de erro, o ANN neste estudo destaca-se como uma ferramenta ainda mais precisa para prever a produtividade da cenoura, indicando seu potencial significativo para aprimorar a tomada de decisões agrícolas nesta cultura específica.

O modelo RLM desse trabalho se assemelha ao reportado por Suarez et al. (2020). Estes autores tiveram ajustes de regressão ótimos entre os IV e a produção total de raízes de cenoura: GNDVI (R^2 0,30); EVI (R^2 0,58); e RDVI (R^2 0,78) e SAVI (R^2 0,77). Em geral, os coeficientes de regressão de produtividade avaliados por estes autores variaram entre 0,29 e 0,77 e erro de até 1%. Ainda concluíram que a relação entre a biomassa sobre o solo (t.ha⁻¹) e a produtividade total de cenoura foi significativa, porém, fraca (R^2 0,24).

5.3 Modelagem da produtividade

A cultura da cenoura carece de modelagem voltada às variáveis de qualidade das raízes. Nenhum trabalho previu a qualidade na cultura da cenoura com ML ao nível de talhão. Apesar da falta de êxito na modelagem da qualidade das raízes, o trabalho aponta a necessidade de explorar métodos de ML para avaliar e aprimorar a qualidade das raízes de cenoura em um contexto mais detalhado. Ao identificar que as leituras de qualidade, como °Brix

e firmeza, podem ser mais eficazes no final do ciclo da cultura, o estudo fornece uma direção para futuras pesquisas.

Embora não se obteve a modelagem da qualidade da cenoura, a utilização de metodologias simples e acessíveis podem tornar mais aplicáveis não só na experimentação, mas também no campo para fins de tomada de decisão no manejo e precificação das raízes. De acordo com os resultados obtidos, novos estudos com maior número de dados coletados no final do ciclo podem prever com precisão a qualidade das raízes antes da colheita comercial. A literatura ainda não possui metodologia específica para modelagem da qualidade da cultura da cenoura e este trabalho servirá como início da investigação qualitativa das raízes de cenoura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices SAVI e NDVI mostraram-se promissores em comparação aos índices RDVI e EVI na previsão da produtividade de cenoura. Os modelos ANN, RF e RLM demonstraram ser eficazes na modelagem da produtividade da cultura. A análise de componentes principais revelou a influência temporal nas variáveis espectrais, o que pode ser útil para otimizar o monitoramento da cultura ao longo do tempo. Apesar da qualidade não ter sido modelada, os resultados aqui obtidos trazem contextualização metodológica que podem incentivar pesquisas futuras.

Aqui, propomos encontrar respostas no campo que refletissem em ganhos múltiplos no âmbito econômico, social e ambiental, contemplando sobretudo os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU: ODS #02, ODS #10, ODS #12 e ODS #17. O desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionam melhorias na qualidade dos alimentos vai ao encontro do fomento da segurança alimentar e saúde humana. Isso permite alcançar a melhoria da gestão e governança de forma responsável, reduzindo os impactos ambientais e otimizando a produção de alimentos. Pelos objetivos de desenvolvimento sustentável, zerar pobreza (ODS 2) e introduzir tecnologias de construção de resiliência em agroecossistemas são indiscutíveis à segurança alimentar e qualidade de vida.

7 REFERÊNCIAS

Abbas F, Afzaal H, Farooque A, Tang S (2020) Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithms. **Agronomy**, 1046, 10(7).

Adolf Lutz (1985). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IMESP, v. 1, 3. ed., p.181-182.

Adolfo Lutz (2005). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**: normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 4ª ed. Brasília (DF): ANVISA.

Aiken L, West SG, Pitts SC (2003) **Multiple linear regression**. In: I.B. Weiner, editor, Handbook of Psychology. Vol. 4. John Wiley e Sons, Hoboken, NJ. p. 481–507.

Alasalvar C, Grigor JM, Zhang D, Quantick PC, Shahidi F (2001) Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. **J Agric Food Chem.**,49(3):1410–1416. pmid:11312873.

Altooq N, Humood A, Alajaimi A, Alenezi AF, Janahi M, Alhaj O, Jahrami H (2022) The role of micronutrients in the management of COVID-19 and optimizing vaccine efficacy. **Human Nutrition e Metabolim**, v. 27.

Algarra M, Fernandes A, Mateus N, de Freitas V, Esteves da Silva JC., Casado J (2014) Anthocyanin profile and antioxidant capacity of black carrots (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) from Cuevas Bajas, Spain. **Journal of Food Composition e Analysis**, 33(1), 71– 76.

Anuário Brasileiro de Hortaliças (2017) **CENOURA**: para não ficar ralado. Brazilian Vegetable Yearbook. Santa Cruz do Sul, p. 41-42.

Arienzo A, Murgia L, Fraudentali I, Gallo V, Angelini R, Antonini G (2020) Microbiological Quality of Ready-to-Eat Leafy Green Salads during Shelf-Life and Home-Refrigeration. **Foods**, 9, 1421.

Ares G, Varela P (2014) **Comparison of novel methodologies for sensory characterization**. In: Varela, P. and Ares, G. (eds) Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 365–389.

Arscott SA, Tanumihardjo SA (2010) Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 9, 223–239.

Ashapure A, Jung J, Chang A, Oh S, Yeom J, Maeda M, Maeda A, Dube N, Landivar J, Hague S, Smith W (2020) Developing a machine learning based cotton yield estimation framework using multi-temporal UAS data. ISPRS J. Photogramm. **Remote Sens.**, 169, pp. 180-194.

Aquino RFBA, Assunção NS, Aquino LA, Aquino PM, Oliveira GA, Carvalho AMX (2015) Nutrient demand by the carrot crop is influenced by the cultivar. **Rev Bras Cienc Solo**; 39:541-52.

Astill G, Perez A, Thornsby S (2020) **Developing Automation and Mechanization for Specialty Crops**: A Review of U.S. Department of Agriculture Programs A Report to Congress.

Aubert S (1981) La carotte (*Daucus carota* L.). Revue de quelques facteurs d'intérêt diététique. **Cahiers de Nutrition et de Diététique** 16, 173–188.

Azmin SNH, Sulaiman NS, Yosri NAB, Nor MSM, Addullah PS (2021) Stability Analysis of Carrot-based Natural Moisturising Lip Balm. **Chemical Engineering Transactions**, v. 83.

Bacco M, Berton A, Ferro E, Gennaro C, Gotta A, Matteoli S et al. (2018) Smart farming: Opportunities challenges and technology enablers in 2018. **IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany** (IOT Tuscany), IEEE, pp. 1-6.

Bach V, Kidmose U, Kristensen HL, Edelenbos M (2015) Eating Quality of Carrots (*Daucus carota* L.) Grown in One Conventional and Three Organic Cropping Systems over Three Years. **J Agric Food Chem.**,63(44):9803–9811.

Banga O (1957) Origin of the European cultivated carrot. **Euphytica** 6, 54–63.

Banga O (1963) **Main Types of the Western Carotene Carrot and Their Origin**.

Baranski R, Maksylewicz-Kaul A, Nothnagel T, Cavagnaro PF, Simon PW, Grzebelus D (2012) Genetic diversity of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars revealed by analysis of SSR loci. **Genetic Resources and Crop Evolution** 59, 163-170.

Bhanti M, Taneja A (2007) Contamination of vegetables of different seasons with organophosphorus pesticides and related health risk assessment in northern India. **Chemosphere** 69: 63– 68.

Baranski R, Allender CH, Klimek-Chodacka M (2011) Towards better tasting and more nutritious carrots: Carotenoid and sugar content variation in carrot genetic resources. **Food Research International**, 47(2), 182– 187.

Basumatary R, Vatankhah H, Dwivedi M, John D, Ramaswamy HS (2020) Ultrasound-steam combination process for microbial decontamination and heat transfer enhancement. **Journal of Food Process Engineering**.

Brainard S, Ellison S, Simon P, Dawson J, Goldman I (2022) Genetic characterization of carrot root shape and size using genome-wide association analysis and genomic-estimated breeding values. **Theoretical and Applied Genetics**, 605-622, 135(2).

Buttery RG, Seifert RM, Guadagni DG, Black DR, Ling L. (1968) Characterization of some volatile constituents of carrots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 16, 1009–1015.

Breiman L (2001) **Random forests**. Machine learning, Vol. 45, pp. 5-32.

Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, Leschik-Bonnet E, Müller MJ, Oberitter H, Schulze M (2012) Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. **Eur. J. Nutr.**, 51, 637-663.

Bolthouse Farms (2002) **Carrot Fiber** GRAS Notification GRAS Notice No. GRN000116.

Bolthouse Farms (2007) **National List Petition Submission for Carrot Fiber**. USDA.

Burton GW, Mogg TJ, Riley WW, Nickerson JG (2021) β -Carotene oxidation products - Function and safety. **Food and Chemical Toxicology**, 152, 112207.

Bystrická J, Kavalcová P, Musilová J, Vollmannová A, Tóth T, Lenková M (2015) Carrot (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.) as source of anti-oxidants. **Acta Agriculturae Slovenica**, 105(2), 303-311.

Biacs PA, Daood HG, Kadar I (1995) Effect of Mo, Se, Zn, and Cr Treatments on the Yield, Element Concentration, and Carotenoid Content of Carrot. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 43(3), 589–591.

Dezordi LR, Aquino LA de, Aquino RFB de A, Clemente JM, Assunção NS (2016) Diagnostic Methods to Assess the Nutritional Status of the Carrot Crop. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 40(0).

Dias, J. S. (2012b). Nutritional quality and health benefits of vegetables: a review. *Food Nutr Sci.*, 3:1354–74.

Dumontet S, Diné H, Schnitzer M, Paré T, Scopa A (2001) Composting organic residues: trace metals and microbial pathogens. **Can. J. Soil Sci.** 81: 357–367.

Calbo AG, Carmelo LGP (2017) **Fisiologia pós-colheita** - métodos macroscópicos e instrumentos. Instrumentação Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças. Brasília, DF: Embrapa, 284 p.

Chevalier W, Moussa S-A, Ottoni MM (2022) Evaluation of pedoclimatic factors and cultural practices effects on carotenoid and sugar content in carrot root. **European Journal of Agronomy**, v.140, 126577.

Capello F, Toja M, Trapani N (2016) **A real-time monitoring service based on industrial internet of things to manage agrifood logistics**. 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, pp. 1-8.

Carlos J, Dias S. (2014) Nutritional and health benefits of carrots and their seed extracts. **Food and Nutrition Sciences**, 5, 2147-2156.

Carvalho ADF, Silva GO, Pereira RB, Pinheiro JB (2015) Produtividade e tolerância à queima-das-folhas de diferentes genótipos de cenoura de verão. **Horticultura Brasileira** 33: 299-304, 2015.

Carvalho ADF et al. (2021) **Cenoura: *Daucus carota* L.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 74 p. (Sistema de produção / Embrapa Hortaliças, ISSN 2763-6801; 2).

Cembali T, Folwell RJ, Clary CD, Mari M (2008) Economic comparison of selective and nonselective mechanical harvesting of asparagus. **International Journal of Vegetable Science**, vol. 14, no. 1, pp. 4-22.

Chen S, Zhou Y, Tang Z, Lu S (2020) Modal vibration response of rice combine harvester frame under multi-source excitation. **Biosystems Engineering**, vol. 194, pp. 177-195.

Chung H, Kim D, Lee S, Cho S (2019) **Smart Farming Education Service based on u-learning environment**. 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Pyeong Chang Kwangwoon, Korea (South), pp. 471-474.

Cicero FGA, Colletti A (2017) Nutraceuticals and dietary supplements to improve quality of life and outcomes in heart failure patients. **Curr Pharm Design.**, 23:1265-72.

Clotault J, Geoffriau E, Lionneton E, Briard M, Peltier D (2010) Carotenoid biosynthesis genes provide evidence of geographical subdivision and extensive linkage disequilibrium in the carrot. **Theoretical and Applied Genetics** 121, 659-672.

Coe KM, Ellison S, Senalik D (2021) THE influence of the Or and Carotene Hydroxylase genes on carotenoid accumulation in orange carrots [*Daucus carota* (L.)]. **Theor Appl Genet** 134, 3351-3362.

Chomel BB (2008) Control and prevention of emerging parasitic zoonoses. **International Journal of Parasitology** 38, 1211–1217.

CDC- Centers for Disease Control and Prevention. **List of selected multistate foodborne outbreak investigations (2020)** Available: <https://www.cdc.gov/foodsafety/outbreaks/multistate-outbreaks/outbreaks-list.html>. Acessado em: 17/02/2022.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: UFV.

Di Cagno R, Coda R, De Angelis M, Gobbetti M (2013) Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. **Food Microbiol.** 2013, 33, 1-10.

Dias JS (2012a) Major Classes of phytonutriceuticals in vegetables and health benefits: a review. **J Nutr Ther.**, 1:31–62.

Dias JS (2012b) Nutritional quality and health benefits of vegetables: a review. *Food Nutr Sci.*, 3:1354–74.

Dias JS (2012a) Major Classes of phytonutriceuticals in vegetables and health benefits: a review. **J Nutr Ther.**, 1:31–62.

Du D, Wang J, Xie L, Deng F (2019) Design and field test of a new compact self-propelled cabbage harvester. **Transactions of the ASABE**, vol. 62, no. 5, pp. 1243-1250.

Evers AM, Tuuri H, Hägg M, Plaami S, Häkkinen U, Talvitie H (1997) Soil forming and plant density effects on carrot yield and internal quality. **Plant Foods for Human Nutrition** 51, 283–294.

Eraslan F, Inal A, Gunes A, Alpaslan M (2007) Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. **Scientia Horticulturae** 113(2), 120–128.

Ellison SL, Luby CH, Corak K, Coe K, Senalik D, Iorizzo M, Goldman IL, Simon PW, Dawson JC (2018) Carotenoid presence is associated with the Or gene in domesticated carrot. **Genetics** 210(4), 1497–1508.

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (EC-JRC). **Supporting environmentally sound decisions for bio-waste management.** A Practical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) (2011), 10.2788/53942.

Esau K (1940) **Developmental anatomy of the fleshy storage organ of *Daucus carota*.** *Hilgardia* 13, 175–226.

Fang S, Da Xu L, Zhu Y, Ahati J, Pei H, Yan J, Liu Z (2014) An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things. **IEEE Trans. Ind. Inform.**, 10, pp. 1596-1605.

FAO. World Food and Agriculture (2020) **Statistical Yearbook 2020**, FAO-Food e Agriculture Organization of the United Nation: Rome, Italy.

Fathallah FA, Miller BJ, Miles JA (2008) Low back disorders in agriculture and the role of stooped work: Scope, potential interventions, and research needs. **Journal of Agricultural Safety and Health**, 14(2), pp. 221-245.

FAO (2019) WIEWS – **World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/wiews/data/ex-situ-sdg-251/overview/en/>> Acessado em: 17/04/2022.

FAO (2009) **Feeding the World in 2050**. <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf> Acessado em: 03/04/2022.

FAO (2018) FAO Statistical Database. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acessado em 01 de abril de 2023.

Feng X, Yan F, Liu X (2019) Study of wireless communication technologies on internet of things for precision agriculture. **Wireless Pers Commun**, 108 (3), pp. 1785-1802.

Fleury A, Roger-Estrade J, Tremblay M (1994) La teneur en carotène de la carotte en arrière-saison: étude de quelques facteurs de variation – comparaison de la relation rendement/densité de peuplement entre deux variétés riches. **Acta Horticulturae** 354, 215-220.

Freitas FCL, Almeida MEL, Negreiros MZ, Honorato ARF, Mesquita HC (2009) Periods of weed interference in carrot in function of spacing between rows. **Planta Daninha** 27, 473–480.

Furtak J, Świć K (1986) Badania jakości pracy kombajnu “Asa-Lift” do zbioru marchwi. **Rocznik Nauk Rolniczych** 1986, t. 76-C-2.

Freeman JA, Harris GH (1951) The effect of nitrogen, phosphorus, potassium and chlorine on the carotene content of the carrot. **Scientific Agriculture** 31, 207–211.

Freund RJ, Wilson WJ, Sa P (2006) **Regression analysis** – Statistical Modeling of a response variable. Elsevier, Inc., San Diego, 459p.

Galadima A, Garba ZN (2012) Heavy metals pollution in Nigeria: Causes and consequences. **Elixir Pollut.**, 45, 7917–7922.

Gall JE, Boyd RS, Rajakaruna N (2015) Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: A review. **Environ. Monit. Assess.**, 187, 201.

Garg M, Ahuja V (2015) Development and evaluation of a nutraceutical herbal summer drink. **Int J Pharm Pharm Sci**. 9:581–4.

Geofriau E (2020) **Carrot root quality**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and

Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p.171-184.

Gibberd MR, Turner NC, Storey R (2002) Influence of saline irrigation on growth, ion accumulation and partitioning, and leaf gas exchange of carrot (*Daucus carota* L.). **Annals of Botany** 90, 715–724.

Geoffriau, Emmanuel, editor. | Simon, P. W. (Philipp W.), editor. Title: **Carrots and related vegetable apiaceae** / edited by Emmanuel Geoffriau, Philipp W. Simon. Wallingford, Oxfordshire, UK; Boston, MA: CABI, 2020.

Geoffriau E (2020) **Genetic Diversity and Main Carrot Types**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p.47-60.

Grzebelus D, Iorizzo M, Senalik D, Ellison S, Cavagnaro P, Macko-Podgorni A, Heller-Uszynska K, Kilian A, Nothnagel T, Allender C, et al. (2014) Diversity, genetic mapping, and signatures of domestication in the carrot (*Daucus carota* L.) genome, as revealed by Diversity Arrays Technology (DArT) markers. **Molecular Breeding** 33, 625–637.

Gizir A, Turker MN, Artuvan E (2008) Pressurized acidified water extraction of black carrots (*Daucus carota* ssp.) anthocyanins. **European Food Research e Technology**, 226, 363-370.

Gocic M, Trajkovic S (2014) Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. **Journal of Hydrology**, vol. 510, pp. 110-123.

Gomes HO, Menezes JMC, Costa JGM, Coutinho HDM, et al. (2020) A socio-environmental perspective on pesticide use and food production. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 197: 110627.

Groves RL, Clements JR, Bradford BZ (2020) **Carrot diseases resulting from Phytoplasmas and Viruses**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p. 148-155.

Guerra F, Trevizam AR, Muraoka T, Marcante NC, Canniatti-Brazaca GS (2012) Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. **Sci. Agric.** 69: 54–60.

Han X, Chen H, Dun G (2015) Analysis on situation of carrot mechanized harvesting technology. **Journal of Agricultural Mechanization Research**, vol. 37, no. 7, pp. 259–263.

Hashim N, Mazlan S, Aziz MA, Salleh A, Jaafar A, Mohamad N (2015) Agriculture monitoring system: a study. **J. Teknologi**, 77, pp. 53-59.

Haque AZ, Haque MS, Naher N (2014) Effect of nitrogen fertilizer to increase the yield of carrot (*Daucus carota* L.). **National University Journal of Science** 1(2), 105–110.

- Hossain D, Imtiaz MH, Sazonov E (2020) Comparison of wearable sensors for estimating chewing force. **IEEE Sensors Journal**, 20(10), 5379–5388.
- Houbraken M, Sprangers T, De Clercq P, Cooreman-Algoed M, Couchement T, De Clercq G, Spanoghe P (2016) Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption. **Food Chemistry**, 201, 264–269.
- Huete AR (1988) A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25, 295-309.
- Hu P. et al. (2019) Pixel size of aerial imagery constrains the applications of unmanned aerial vehicle in crop breeding. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 154:1-9.
- Hufnagl K, Jensen-Jarolim E.(2018) Does a carrot a day keep the allergy away? **Immunology Letters**.
- Huete AR, Didan K, Miura T, Rodrigues E, Goa X, Ferreira L (2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 195-213, 83(1-20).
- Horrocks A, Curtin DM, Tregurtha C, Meenken E (2016) Municipal compost as a nutrient source for organic crop production in New Zealand. **Agronomy**, 6: 35.
- Hochmuth GJ, Brecht JK, Bassett MJ (1999) Nitrogen fertilization to maximize carrot yield and quality on a sandy soil. **HortScience** 34(4), 641–645.
- Hoppu U, Puputti S and Sandell M (2020) Fatores relacionados às propriedades sensoriais e aceitação de vegetais pelo consumidor. **Crit. Ver. Food. Sci. Nutr.** 61: 1751-1761.
- Hu W, Huang B, Tian K, Holm PE, Zhang Y (2017) Heavy metals in intensive greenhouse vegetable production systems along Yellow Sea of China: Levels, transfer and health risk. **Chemosphere**, 167, 82-90.
- Hu Z, Peng B, Yin W (2008) Design and experiment on multifunctional root-tuber crops combine. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, vol. 39, no. 10, pp. 58-61.
- Hu C, Qi Y (2013) Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China. **Eur. J. Agron.**, 46, pp. 63-67.
- Islam N, Ray B, Pasandideh F (2020) **IoT Based Smart Farming**: Are the LPWAN Technologies Suitable for Remote Communication? IEEE International Conference on Smart Internet of Things (Smart-IoT), Beijing, China, 2020, pp. 270-276.

Iorizzo M, Senalik DA, Ellison SL, Grzebelus D, Cavagnaro PF, Allender C, Brunet J, Spooner DM, Van Deynze A, Simon PW (2013) Genetic structure and domestication of carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) (Apiaceae). **American Journal of Botany** 100, 930–938.

Iorizzo M, Ellison S, Senalik D, Zeng P, Satapoomin P, Huang J, Bowman M, Iovene M, Sanseverino W, Cavagnaro P et al. (2016) A high-quality carrot genome assembly provides new insights into carotenoid accumulation and asterid genome evolution. **Nature Genetics** 48, 657–666.

Iwaishi S (2000) Effect of organic fertilizer and effective microorganisms on growth, yield and quality of paddy-rice varieties. **J. Crop Prod.**, 3, pp. 269-273.

Jaywant S, Singh H, Arif K (2022) Sensors and instruments for brix measurements: a review. **Sensors**, 2290, 22 (6).

Javaid A, Bajwa R (2011) Field evaluation of effective microorganisms (EM) application for growth, nodulation, and nutrition of mung bean. **Turk. J. Agric. For.**, 35, pp. 443-452.

Jolliffe IT, Cadima J (2016) **Principal component analysis**: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202.

Jahanbakhshi A, Abbaspour-Gilandeh Y, Gundoshmian TM (2018) Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. **Food Science e Nutrition**.

Jin X, Du X, Wang S (2016) Design and experiment of stems cutting device for carrot harvester. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, vol. 47, no. 3, pp. 82-89.

Jozef K, Norbert L (2011) The influence of working parameters of a carrot harvester on carrot root damage. **Maintenance and Reliability**, vol. 39, no. 1, pp. 35-41.

Javaid A (2006) Foliar application of effective microorganisms on pea as an alternative fertilizer. **Agron. Sustain. Dev.**, 26, pp. 257-262.

Kamel DG, Hammam ARA, Nagm El-diin MAH, Awasti N, Abdel-Rahman AM (2023) Nutritional, antioxidant, and antimicrobial assessment of carrot powder and its application as a functional ingredient in probiotic soft cheese. **J. Dairy Sci.**, 106:1672–1686.

Kadkhoda G, Zarkesh M, Saidpour A, Oghaz MH, Hedayati M, Khalaj A (2020) Association of dietary intake of fruit and green vegetables with PTEN and P53 mRNA

gene expression in visceral and subcutaneous adipose tissues of obese and non-obese adults. **Gene**, 733,144353.

Khanna A, Kaur S (2019) Evolution of internet of things (iot) and its significant impact in the field of precision agriculture. **Comput Electron Agric**, 157, pp. 218-231.

Khawla BJ, Sameh M, Imen G, Donyes F, Dhouha G, Raoudha EG, Oumèma N-E (2014) Potato peel as feedstock for bioethanol production: a comparison of acidic and enzymatic hydrolysis. **Ind. Crop. Prod.**, 52, pp. 144-149.

Khoshkho SM, Mahdavian M, Karimi F, Karimi-Maleh H, Razaghi P (2022) Production of bioethanol from carrot pulp in the presence of *Saccharomyces cerevisiae* and beet molasses inoculum, a biomass based investigation. **Chemosphere**, 286, 131688.

Kjellenberg LJE, Gustavsson K, Granstedt A, Olsson M (2016) Influência de adubos orgânicos em culturas de cenoura (*Daucus carota* L.) cultivadas em um experimento de campo de longo prazo na Suécia. **Agricultura Renovável e Sistemas Alimentares** 31: 258-268.

Kodali RK, Rawat N, Boppana L (2014) **WSN sensors for precision agriculture**. Region 10 Symposium, IEEE, pp. 651-656.

Kovacs G, Sorvari S, Scott P, Toldi O (2007) Pyrophosphate:fructose 6-phosphate 1-phosphotransferase is involved in the mobilization of sugar reserves in the taproots of cold- and drought-stressed carrot plants. **Acta Agronomica Hungarica** 55, 71–82.

Komarnicki P, Kuta L (2021) Evaluation of Picker Discomfort and Its Impact on Maintaining Strawberry Picking Quality. **Appl. Sci.**, 11(24), 11836.

Kowalczyk J, Leszczyński N (2009) An Influence of the working parameters of Alina Supernova Combine on harvest quality of Carrot roots. **Teka komisji motoryzacji i energetyki rolnictwa**, 9: 128-133.

Kowalczyk J, Leszczyński N (2005) Straty i uszkodzenia korzeni marchwi powstające podczas zbioru jednorzędowym kombajnem Simon. Carrot root losses and damages occurring during harvest by means of one-row Simon harvester. **Acta Agrophysica**, 6(3): 671-676, 2005.

Keutgen AJ, Tomaszewska-Sowa M, Bomberski A, Keutgen N (2022) The Influence of Phytohormones on the Efficiency of Callus Formation, Its Morphologically Properties and Content of Bioactive Compounds in In Vitro Cultures of *Daucus carota* L. **Horticulturae**, 8, 100.

Lana MM (2012) Os efeitos do espaçamento entre linhas e época de colheita no rendimento de processamento e tamanho de raiz de cenoura para produção de Cenourete®. **Horticultura Brasileira** 30: 304-311.

Le Dily F, Villeneuve F, Boucaud J (1994) Quality and maturity of carrot root.

Biochemical composition influenced by field storage and cold moisture conditions. **Acta Horticulturae** 354, 191-202.

Lee CY (1986) Changes in carotenoid content of carrots during growth and post-harvest storage. **Food Chemistry** 20, 285-293.

Leja M, Kamińska I, Kramer M, Maksylewicz-Kaul A, Kramer D, Carle R, Baranski R (2013) The content of phenolic compounds and radical scavenging activity varies with carrot origin and root color. **Plant Foods Human Nutrition**, 68, 163- 170.

Leszczynski N (2011) The influence of working parameters of a carrot harvester on carrot root damage. *Maint. Reliab.*, 49, 35-41.

Li G, Wan S, Zhou J, Yang Z, Qin P (2010) Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde, and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. *Ind. Crops Prod.*, 31, 13-19.

Li K, Yang B (2015) Planting status and research progress on seeding machine of carrot at home and abroad. **Agric. Eng.**, 5, 1-5.

Lin Y, Tanaka S (2006) Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, 69 (6), pp. 627-642, 2006.

Lenio M, Binsted K (2016) **Space gardening lessons from HI-SEAS**: Lights, crops and growing media. Proceedings of the International Astronautical Congress. 67th International Astronautical Congress, IAC.

Liu B, Tu C, Hu S, Gumpertz ML, Ristaino JB (2007) Longterm effects of organic and synthetic soils fertility amendments on soil microbial communities and the development of southern blight. **Soil Biol. Biochem.**, 39, pp. 2302-2316.

Larsen AE, Gaines SD, Deschênes O (2017) Agricultural pesticide use and adverse birth outcomes in the San Joaquin Valley of California. **Nat. Commun.**, 8, 302.

Lopes WAR, Negreiros MZ, Teófilo TMS, Alves SSV, et al. (2008) Produtividade de cultivares de cenoura em diferentes densidades de plantio. **Rev. Ceres.** 55 (5): 482-487.

Linke B, Alessandro MS, Galmarini C, Nothnagel T (2019) **Carrot floral development and reproductive biology**. In: Simon, P.W., Iorizzo, M., Grzebelus, D. and Baranski, R. (eds) *The Carrot Genome*. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp. 27–57.

Lyon RG (2004) **Understanding Digital Signal Processing**, 2nd Ed., Prentice Hall, Upper SaddleRiver, New Jersey, pp. 556-561.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA (1997) **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2^a.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.

Manosa NA (2011) **Influence of temperature on yield and quality of carrots (*Daucus carota* var. *sativa*)**. PhD thesis, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.

Mackevic VI (1929) The carrot of Afghanistan. **Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding** 20, 517–562.

Madugundu R, Al-Gaadi KA, Tola E, Hassaballa AA, Kayad AG (2018) Utilization of Landsat-8 data for the estimation of carrot and maize crop water footprint under the arid climate of Saudi Arabia. **PLoS ONE**, 13, 2.

Mas J, Flores J (2008) The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, 617-663, 29(3).

Maas EV, Hoffman GJ (1977) **Crop salt tolerance** – current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division 103, 115–134.

Metiva M, Bunting E, Steinke K, Hayden Z (2023) Topdress strategies and remote sensing for nitrogen management in processing carrots. **Agronomy Journal**, 408-425, 115 (1).

Meyer-Rochow VB (1975) Can insects help to ease the problem of world food shortage? **Search**, 6, 261–262.

Mkhabela MS, Bullock P, Raj S, Wang S, Yang Y (2011) Crop yield forecasting on the Canadian prairies using MODIS NDVI data. **Agric. Forest Meteorol.** 151, 385-393.

Montgomery DC, Peck EA, Vining GG (2006). **Introduction to linear regression analysis**. John, Wiley and Sons, Inc., New York, 612p.

Mpemba OS, Du Toit A, De Wit M, Venter SL, Hugo A (2022) Edible characteristics of two nopalito cultivars compared to selected popular vegetables. **Acta Hortic.**, 1343, 409–416.

Macedo RBM (2014) **Ergonomia aplicada na redução da dor lombar em ciclistas com o suporte da eletromiografia** [dissertação]. Curitiba (PR): Universidade Tecnológica Federal do Paraná, v16:1-84. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/987>>. Acessado em: 31/03/2022.

Maiani G, Cast MJ, Catasta C, Toti E, Cambrod IG, Bysted A (2009) Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. **Mol Nutri Food Res.** 53:S194-218.

Maksimov LM, Maksimov PL (2000) The separating device of a carrot harvesting combine. **Trakt. I Selskokhozya Istvennye Mashiny**, 13, 12-13.

MAPA - Ministério da Agricultura e Abastecimento (1999). LUENGO, R. F. A. Cenoura- Portaria N° 412. In: LUENGO, R. F. A. et al. **Classificação de hortaliças**. Embrapa Hortaliças- Brasília, p. 35-38.

Maxia A, Marongiu B, Piras A, Porcedda S, Tuveri E, Gonçalves MJ, Cavaleiro C, Salgueiro L (2009) Chemical characterization and biological activity of essential oils from *Daucus carota* L. subsp. *carota* growing wild on the Mediterranean coast and on the Atlantic coast. **Fitoterapia** 80(1), 57-61.

Myers RH (1990) **Classical and modern regression with applications**. Vol. 2. Duxbury Press, Belmont, CA.

Moon SH, Na MH, Kim TY, Park MS (2021) Crop yield prediction based on growth and environmental factors: a case study of oriental melons (*Cucumis melo* L. var. *makuwa makino*) in Seongju region. **Applied Ecology and Environmental Research**, 20 (1), 479-497.

Muangprathub J, Boonnam N, Kajornkasirat S, Lekbangpong N, Wanichsombat A, Nillaor P (2019) IoT and agriculture data analysis for smart farm. **Computers and Electronics in Agriculture**, 156, 467-474.

Müller O (2005) Malnutrition and health in developing countries. **Canadian Medical Association Journal**, 173(3), 279-286.

Nascimento WM, Vieira JV, Silva GO, Reitsma KR, Cantliffe DJ (2008) Carrot seed germination at high temperature: effect of genotype and association with ethylene production. **HortScience** 43, 1538–1543.

Newell DG, Koopmans M, Verhoef L, Duizer E, Aidara-Kane A, Sprong H, Opsteegh M, Langelaar M, Threfall J, Scheutz F, Van Der Giessen J, Kruse F (2010) Food-borne diseases – The challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. **International Journal of Food Microbiology** 139, S3–S15.

Ndiaye C, Martinez MM, Hamaker BR, Campanella OH, Ferruzzi MG (2020) Effect of edible plant materials on provitamin A stability and bioaccessibility from extruded whole pearl millet (*P. typhoides*) composite blends. **LWT**, 109109.

Ndzi DL, Harun A, Ramli FM, Kamarudin ML, Zakaria A, Shakaff AYM, Farook RS (2014) Wireless sensor network coverage measurement and planning in mixed crop farming. **Comput. Electron. Agric.**, 105, pp. 83-94.

Northolt M, Van Derburgt GJ, Buisman T, Vanden Bogaerde A(2004). **Parameters for Carrot Quality**: and The Development of the Inner Quality Concept. Louis Bolk Instituut, Driebergen, The Netherlands.

Nogueira FAM, Szwarcwald CL, Damacena GN (2020) Exposição a agrotóxicos e agravos à saúde em trabalhadores agrícolas: o que revela a literatura? **Rev. Bras. Saúde. Ocup.** 45: e36.

Ndong RN, Friedel JK, Spornberger A, Rinnofner T, Jezik K (2011) Effective micro-organisms (EM): an effective plant strengthening agent for tomatoes in protected cultivation. **Biol. Agr. Hort.**, 27, pp. 189-204.

Nunez JJ (2020) **Carrot Production Practices**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p.92-102.

Örnek MN, Kahramanlı Örnek H (2021) Developing a deep neural network model for predicting carrots volume. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 15(4), 3471–3479.

Onishi Y, Yoshida T, Kurita H, Fukao T, Arihara H, Iwai A (2019) An automated fruit harvesting robot by using deep learning. **ROBOMECH Journal**, 6(1).

Otles S, Ozyurt VH (2019) Probiotic and Prebiotic Beverages. **Functional and Medicinal Beverages**, 447-458.

Ortiz J, Velasquez P, Santis A (2021) Use of Vegetables as a New Ingredient in the Formulation of Cupcakes for New Trends and Eating Habits. **Chemical Engineering Transactions**, 87, 427-432.

Ouafiq EM, Saadane R, Chehri A, Jeon S (2022) AI-based modeling and data-driven evaluation for smart farming-oriented big data architecture using IoT with energy harvesting capabilities. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 52, Part A, 102093.

Olutona GO, Aderemi MA (2019) Organochlorine pesticide residue and heavy metals in leguminous food crops from selected markets in Ibadan, Nigeria. **Legume Sci.**, 1, e3.

Okpala COR, Sardo G, Vitale S, Bono G, Arukwe A (2018) Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. Crit. **Rev. Food Sci. Nutr.**, 58, 1986–2001.

Patkowska E, Mielniczuk E, Jamiółkowska A, Skwaryło-Bednarz B, et al. (2020) The Influence of *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 and other biostimulants on rhizosphere beneficial microorganisms of carrot. **Agron.** 10 (11): 1637.

Phan CT, Hsu H (1973) Physical and chemical changes occurring in the carrot root during growth. Canadian Journal of Soil Science 53, 629–634. doi:10.4141/cjps73-123
Suojala, T. (1999) Cessation of storage root growth of carrot in autumn. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 74, 475–483.

Parlak M, Palta Ç, Yokuş S, Blanco-Canqui H, Çarkacı DA (2016) Soil losses due to

carrot harvesting in south central Turkey. **CATENA**, 140, 24-30.

Pavlyuk I, Stadnytska N, Jasicka-Misiak I, Górka B, Wieczorek PP, Novikov V (2015) A study of the chemical composition and biological activity of extracts from wild carrot (*Daucus carota* L.) seeds waste. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences** Volume 6, Issue 2, p. 603-611.

Plunkett GM, Pimenov M, Reduron J.-P, Kljuykov E.V, Van Wyk B.-E, Ostroumova T.A, Henwood M.J, Tilney P.M, Spalik K, Watson M.F, et al. (2018) **Flowering Plants**. Eudicots; Kadereit, J.W., Bittrich, V., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland; Volume 15, ISBN 9783319936055.

Pereira RB, Carvalho ADF, Pinheiro JB Silva, GO, Vieira JV (2015) Avaliação de híbridos experimentais de cenoura no Distrito Federal. **Horticultura Brasileira** 33: 34-39.

Peruzz A, Ginanni M, Fontanelli M, Raffaelli M, Barberi P (2007) Innovative strategies for on-farm weed management in organic carrot. **Renewable Agriculture and Food Systems** 22, 246–259.

Perrin F, Braham M, Dubois-Laurent C, Huet S, Jourdan M, Geoffriau E, Peltier D, Gagné S (2016) Differential pigment accumulation in carrot leaves and roots during two growing periods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 64(4), 906-912.

Petropoulos SA, Sampaio SL, Di Gioia F, Tzortzakis N, Rouphael Y, Kyriacou MC, Ferreira I (2019) Grown to be blue—Antioxidant properties and health effects of colored vegetables. Part I: **Root Vegetables. Antioxidants**, 8, 617.

Pina M, Gaspar PD, Lima TM (2021) Decision Support System in Dynamic Pricing of Horticultural Products Based on the Quality Decline Due to Bacterial Growth. **Appl. Syst. Innov.**, 4(4), 80.

Polat S, Guclu G, Kelebek H, Keskin M, Selli S (2022) Comparative elucidation of colour, volatile and phenolic profiles of black carrot (*Daucus carota* L.) pomace and powders prepared by five different drying methods. **Food Chemistry**, 369, 130941.

Porter SD, Reay DS, Higgins P, Bomberg E (2016) A half-century of production-phase greenhouse gas emissions from food loss e waste in the global food supply chain. **Science of The Total Environment.**, 571:721-29.

Pounraj S, Bhilwadikar T, Manivannan S, Rastogi NK, Negi PS (2020) Effect of ozone, lactic acid and combination treatments on the control of microbial and pesticide contaminants of fresh vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**.

Prachayasittikul V, Prachayasittikul S, Ruchirawat S, Prachayasittikul V (2018). Coriander (*Coriandrum sativum*): a promising functional food toward the well-being.

Food Research International 105, 305–323.

Pham H, Awange J, Kuhn M, Nguyen B, Bui L (2022) Enhancing Crop Yield Prediction Utilizing Machine Learning on Satellite-Based Vegetation Health Indices. **Sensors**, 719, 22(3).

Planet Team (2019) **Planet Application Program Interface**: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. <<https://api.planet.com>>. Acesso em: 26 de março de 2023.

Papoutsis K, Edelenbos M (2021). Postharvest environmentally and human-friendly pre-treatments to minimize carrot waste in the supply chain caused by physiological disorders and fungi. **Trends in Food Science e Technology**, 112, 88–98.

Pietola L, Salo T (2000) Response of P, K, Mg and NO₃-N contents of carrots to irrigation, soil compaction, and nitrogen fertilisation. **Agricultural and Food Science** 9(4), 319–331.

Perrin F, Dubois-Laurent C, Gibon Y, Citerne S, Huet S, Suel A, Le Clerc L, Briard M, Hamama L, Peltier D, Gagné S, Geoffriau E (2017) Combined *Alternaria dauci* infection and water stresses impact carotenoid content of carrot leaves and roots. **Environmental and Experimental Botany** 143, 125–134.

Qaisrani ZN, Nuthammachot N, Techato K, Asadullah Jatoi GH, Mahmood B, Ahmed R (2024) Drought variability assessment using standardized precipitation index, reconnaissance drought index and precipitation deciles across Balochistan, Pakistan. **Brazilian Journal of Biology**, 84.

Queiroz PP, Schettino S, Minette LJ (2015) **Avaliação biomecânica da atividade de colheita semimecanizada de café em terrenos acidentados**. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 1-9. Ponta Grossa. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/32269338-Avaliacao-biomecanica-da-atividade-de-colheita-semimecanizada-de-cafe-em-terrenos-acidentados.html>>. Acessado em: 31/03/2022.

Que F, Ho XL, Wang GL, Xu ZS, Tan GF, Li T, Wang YH, Khadr A, Xiong AS (2019) Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. **Hortic. Res.**, v.6, p.1–15, 2019.

Qin R, Li P, Du M, Ma L, Huang Y, Yin Z, Wu X (2021) Spatiotemporal Visualization of Insecticides and Fungicides within Fruits and Vegetables Using Gold Nanoparticle-Immersed Paper Imprinting Mass Spectrometry Imaging. **Nanomaterials**, 11(5), 1327.

Que F, Hou XL, Wang GL, Xu ZS, Tan GF, Li T, Wang YH, Khadr A, Xiong AS (2019) Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family.

Hortic. Res., v.6, p.1–15, 2019.

Raju TNK, Higgins RD, Stark AR, Leveno KJ(2006). Optimizing Care and Outcome for Late-Preterm (Near-Term) Infants: A Summary of the Workshop Sponsored by the National Institute of Child Health and Human Development. **PEDIATRICS**, 118(3), 1207-1214.

Rashmi HB, Negi PS (2020) Health benefits of bioactive compounds from vegetables, in Plant Derived Bioactives: Production, Properties and Therapeutic Applications, ed. by MK Swamy. **Springer**, Singapore, pp. 115-166.

Ramakrishnan B, Maddela NR, Venkateswarlu K, Megharaj M (2021) Organic farming: Does it contribute to contaminant-free produce and ensure food safety? **Science of The Total Environment**, 769, 145079.

Rahman MM, Azad MOK, Uddain J, Adnan M, Ali MC, Al-Mujahidy SMJ, Naznin MT (2021) Microbial Quality Assessment and Efficacy of Low-Cost Disinfectants on Fresh Fruits and Vegetables Collected from Urban Areas of Dhaka, Bangladesh. **Foods**, 10(6), 1325.

Rasmussen J et al. (2016) Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? **European Journal of Agronomy**, v. 74.

Ren S, Giusti MM (2021) The effect of whey protein concentration and preheating temperature on the color and stability of purple corn, grape and black carrot anthocyanins in the presence of ascorbic acid. **Food Research International**, 144, 110350.

Resende GM, Yuri JE, Costa ND and Mota JH (2016) Yield of carrot cultivars in organic farming system at high temperature. **Hortic. Bras.** 34 (1): 121-125.

Roberti R, Bergonzoni F, Finestrelli A, Leonardi P (2015) Biocontrol of *Rhizoctonia solani* disease and biostimulant effect by microbial products on bean plants. **Micol. Ital.**, 44.

Rowse HR, Finch-Savage WE (2003) Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. **New Phytologist** 158, 101–108.

Rovai D, Ortgies M, Amin S, Kuwahara S, Schwartz G, Lesniasukas R, Garza J, Lammert A (2021) Utilization of Carrot Pomace to Grow Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*). **Sustainability**, 13(16), 9341.

Rosenfeld HJ, Aaby K, Lea P (2002) Influence of temperature and plant density on sensory quality and volatile terpenoids of carrot (*Daucus carota* L.) root. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 82(12), 1384–1390.

Reid J, Gillespie R (2017) Yield and quality responses of carrots (*Daucus carota* L.) to water deficits. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, 299-312, 45(4).

Reid JB (2019) Modelling growth and dry matter partitioning in root crops: a case study with carrot (*Daucus carota* L.). **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science** 47, 99–124.

Roujean J, Breon F (1995) Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, 375-384, 51(3).

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974) **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS), 1, 48-62.

Rubatzky VE, Quiros CF, Simon PW (1999) **Carrots and Related Vegetable Umbelliferae**. CAB International, Wallingford, UK.

Ruysschaert G, Poesen J, Verstraeten G, Govers G (2004) Soil loss due to crop harvesting: significance and determining factors. **Prog. Phys. Geogr.**, 28, pp. 467-501.

Ryan U, Hijjawi N, Xiao L (2018) Foodborne cryptosporidiosis. **International Journal for Parasitology** 48, 1–12.

Saw SH, Mak JL, Tan MH, Teo ST, Tan TY, Cheow MYK, Ong CA, Chen S., Yeo SK, Kuan CS, Son R, New CY, Phuah ET, Thung TY, Kuan CH (2020) Detection and quantification of Salmonella in fresh vegetables in Perak, Malaysia. **Food Research** 4 (2): 441-448.

Saha S, Kalia P, Sureja AK and Sarkar S (2016) Breeding tropical carrots (*Daucus carota*) for enhanced nutrition and high temperature stress. **Indian. J. Agric. Sci.** 86 (7): 940.

Sandhu KS, Joshi AK, Bajaj KL (1988) Effects of nitrogen fertilizer and weed control

on nutritive quality of carrots (*Daucus carota* L.). **Plant Foods for Human Nutrition** 38, 67–73.

Singh DP, Beloy J, McInerney JK, Day L (2012) Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). **Food Chemistry** 132, 1161–1170.

Simon PW, Pollak LM, Clevidence BA, Holden JM, Haytowitz DB (2009) Plant breeding for human nutritional quality. **Plant Breed Rev.**, 31:325–92.

Simon PW, Freeman RE, Vieira JV, Boiteux LS, Briard M, Nothnagel T, Michalik B, Kwon YS (2008) **Carrot**. In: Prohens, J., Carena, M.J. and Nuez, F. (eds) Handbook of Crop Breeding, Vol. 1: Vegetable Breeding. Springer, Heidelberg, Germany, pp. 327–357.

Simon PW, Geoffriau E, Ellison S, Iorizzo M (2019) **Carrot carotenoid genetics and genomics**. In: Simon, P.W., Iorizzo, M., Grzebelus, D. and Baranski, R. (eds) The Carrot Genome. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp. 247–260.

Simon PW, Peterson CE, Lindsay RC (1982) Genotype, soil, and climate effects on sensory and objective components of carrot flavor. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 107, 644–648.

Shin K, Van Diepen G, Blok W, Van Bruggen AHC (2017) Variability of Effective Micro-organisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. **Crop Protection**, 99, 168–176.

Shih YF, Su WS (2021) **Biocomposites Based on Agar and Cellulose Nanofibers Prepared from Carrot Slag**. In Key Engineering Materials (Vol. 889, pp. 32–37).

Small E (1978) A numerical taxonomic analysis of the *Daucus carota* complex. **Canadian Journal of Botany** 56, 248–276.

Sørensen JN, Jørgensen U, Kühn BF (1997) Drought effects on the marketable and nutritional quality of carrots. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 74(3), 379–391.

Stolarczyk J, Janick J (2011) Carrot: history and iconography. **Chronica Horticulturae** 51, 13–18.

Spurr CJ, Lucas AM (2020) **Apiaceae Seed Production**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p.18-34.

Schanoski R, Righi EZ, Werner V (2011) Perdas na colheita mecanizada de soja (Glycine max) no município de Maripá -PR1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 15(11):1206-1211.

Shi X, An X, Zhao Q, Liu H, Xia L, Sun X. et al. (2019) State-of-the-art internet of things in protected agriculture. **Sensors**, 19 (8), p. 1833.

Shih YF, Su WS (2021) Biocomposites Based on Agar and Cellulose Nanofibers Prepared from Carrot Slag. In Key Engineering Materials (Vol. 889, pp. 32–37). **Trans Tech Publications**, Ltd.

Shin BH, Jeon HK (2020) ICT-based smart farm design. **Journal of Convergence for Information Technology** 10(2): 15-20.

Shirwal S, Mani I, Sirohi N (2015) Development and evaluation of carrot harvester. **AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa Latin America**, vol. 46, no. 1, pp. 28–34.

Simões AN, Moreira SI, Costa FB, Almeida AR, Santos RHS, Puschmann R (2010) Populational density and harvest age of carrots for baby carrot manufacture. **Horticultura Brasileira** 28: 147-154.

Simon PW, Freeman RE, Vieira JV, Boiteux LS, Briard M, Nothnagel T, Michalik B, Kwon YS (2008) Carrot. In: Prohens, J., Carena, M.J. and Nuez, F. (eds) Handbook of Crop Breeding, Vol. 1: Vegetable Breeding. **Springer**, Heidelberg, Germany, pp. 327–357.

Slavin JL, Lloyd B (2012). Health benefits of fruits and vegetables. **Adv. Nutr.**, 3, 506–516.

Subbesh A, Mehta CR (2021) Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v.5, p. 278-291.

Stamford JD, Violet-Chabrand S, Cameron I et al. (2023) Development of an accurate and low-cost NDVI imaging system to assess plant health. **Plant Methods** 19, 9.

Stopa R, Komarnicki P, Szyjewicz D (2017) Modeling of carrot root radial press process for different shapes of loading elements using the finite element method. **International Journal of Food Properties**, vol. 20, pp. 340–352.

Sucheta MNN, Yadav SK(2020). Extraction of pectin from black carrot pomace using intermittent microwave, ultrasound and conventional heating: Kinetics, characterization and process economics. **Food Hydrocolloids**, 102, 105592.

Simon PW, Grzebelus D (2020) **Carrot Genetics and Breeding**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABl, p.61-75.

Stamford JD, Violet-Chabrand S, Cameron I et al. (2023) Development of an accurate and low-cost NDVI imaging system to assess plant health. **Plant Methods** 19, 9.

Suarez LA, Robson A, McPhee J et al. (2020) Accuracy of carrot yield forecasting using proximal hyperspectral and satellite multispectral data. **Precision Agric** 21, 1304–1326.

Suarez L, Robertson-Dean M, Brinkhoff J, Robson A (2023) Forecasting carrot yield with optimal timing of Sentinel 2 image acquisition. **Precision Agriculture**.

Suojala T (2000) Variation in sugar content and composition of carrot storage roots at harvest and during storage. **Scientia Horticulturae** 85, 1–19.

Seljåsen R, Bengtsson GB, Hoftun H, Vogt G (2001a) Sensory and chemical changes in five varieties of carrot (*Daucus carota* L.) in response to mechanical stress at harvest and post-harvest. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 81, 436–447.

Seljåsen R, Hoftun H, Bengtsson GB (2001b) Sensory quality of ethylene-exposed carrots (*Daucus carota* L., cv 'Yukon') related to the contents of 6-methoxymellein, terpenes and sugars. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 81, 54–61.

Sakamoto M, Suzuki T (2015) Elevated root-zone temperature modulates growth and quality of hydroponically grown carrots. **Agricultural Sciences** 6, 749–757.

Subeesh A, Mehta CR (2021) Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. **Artif. Intell. Agric.**, 5, pp. 278-291.

Swanton CJ, O'Sullivan J, Robinson DE (2010) The critical weed-free period in carrot. **Weed Science** 58, 229–233.

Tang H, Jiang Y, Wang J, Guan R, Zhou W (2021) Bionic Design and Parameter Optimization of Rotating and Fixed Stem- and Leaf-Cutting Devices for Carrot Combine Harvesters. **Mathematical Problems in Engineering**, 8873965.

Tapiero H, Townsend DM, Tew KD (2004) The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine e Pharmacotherapy** 58(2), 100–110.

Talcott ST, Howard LR (1999) Chemical and sensory quality of processed carrot puree as influenced by stress-induced phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 47(4), 1362–1366.

Talaat NB, Ghoniem AE, Abdelhamid MT, Shawky BT (2015). Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrient acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. **Plant Growth Regul.**, 75, pp. 281-295.

Tauxe RV (2002) Emerging foodborne pathogens. **International Journal of Food Microbiology** 78, 31–41.

Tapiero H, Townsend DM, Tew KD (2004) The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine e Pharmacotherapy** 58(2), 100–110.

Tedesco D, Almeida Moreira BR de, Barbosa Júnior MR, Papa JP Silva, RP da. (2021a) Predicting on multi-target regression for the yield of sweet potato by the market class of its roots upon vegetation indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, 191:106544.

Tedesco D, Oliveira MF, Santos AF, Silva EHC, Rolim GS, Silva RP (2021b) Use of remote sensing to characterize the phenological development and to predict sweet potato yield in two growing seasons. **Eur. J. Agron.**, 129, p. 126337.

Thiagarajan A, Lada RR, Muthuswamy S, Adams A (2013) Agroclimatology-Based Yield Model for Carrot Using Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks. **Agronomy Journal**, 105(3), 863.

Trivellato PT, Moraes DC, Lopes LO, Miguel ES, et al. (2019) Insegurança alimentar e nutricional em famílias do meio rural brasileiro: revisão sistemática. **Ciênc. Saúde. Colet.** 24 (3): 865-874.

Toni D, Milan GS, Larentis F, Eberle L, et al. (2020) A configuração da imagem de alimentos orgânicos e suas motivações para o consumo. **Ambient. Soc.** 23: e02334.

Turner S, Ellison S, Senalik DA, Simon PW, Spalding EP, Miller ND (2018) An automated, high-throughput image analysis pipeline enables genetic studies of shoot and root morphology in carrot (*Daucus carota* L.). **Frontiers in Plant Science** 9, 1703.

Vaiphasa C (2006) Consideração de técnicas de suavização para sensoriamento remoto hiperespectral. **Journal ISPRS de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**, 60(2), 91-99.

Van Klompenburg T, Kassahun A, Catal C (2020) Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. **Comput. Electron. Agric.**, 177, 105709.

Van Bruggen AHC, Finckh M (2016) Plant diseases and management approaches in organic farming systems. **Annu. Rev. Phytopathol.**, 54, pp. 25-54.

Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P (2013) **Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security**; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

Varelas V (2019) Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: A review. **Fermentation**, 5, 81.

Van Broekhoven S, Oonincx DGAB, Van Huis A, Van Loon JJA (2015) Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. **J. Insect Physiol.**, 73, 1–10.

Vavilov NI (1926) **Studies on the Origin of Cultivated Plants**. Institut Botanique Appliqué et d'Amélioration des Plantes Leningrad, State Press, Russia.

Van Heems HDJ (1985) The influence of weed competition on crop yield. **Agricultural Systems** 18, 81–93.

Vieira JV, Pessoa HBSV, Makishima N (2008) **Cenoura** (*Daucus carota*) Embrapa Hortaliças. Disponível em: <Available at https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cenoura/Cenoura_Daucus_Carota/colheita.html> Acessado em: 30/03/2022.

Vieira JV, Pessoa HBSV and Makishima N (1999) **A cultura da cenoura**. (Coleção Plantar, 43). Embrapa Hortaliças. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 77p.

Vieira JV, Silva GO, Boiteux LS (2012) Parâmetros genéticos e estimativas de correlação de características de processamento em progênies de meios-irmãos de germoplasma de cenoura adaptado ao clima tropical. **Horticultura Brasileira** 30: 7-11.

Villeneuve F (2020) **Carrot Growth and Development**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p.76-91.

Villeneuve F, Bosc JP, Le Dily F (2002) La maturité de la carotte mythe ou réalité? **Infos-Ctifl** 186, 45–49.

Villeneuve F (2014) **La carotte**: maladies, ravageurs et protection. Collection Hortipratic. CTIFL, Paris.

Villeneuve F, Geoffriau E (2020) **Carrot physiological disorders and crop adaptation to stress**. In: Geoffriau, E., Simon, P.W. Carrots and Related Apiaceae Crop. Boston, MA: CABI, p.156-170.

Villeneuve F, Leteinturier J (1992) **La carotte** Vol. 2. Etat des connaissances. CTIFL,

Paris.

Vohra M, Manwar J, Manmode R, Padgilwar S, Patil S (2014) Bioethanol production: feedstock and current Technologies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2 (1), pp. 573-584.

Xia X, Zu Z, Yu C, Zhou Q, Chen J (2021) Finite Element Analysis and Experiment of the Bruise Behavior of Carrot under Impact Loading. **Agriculture**, 11(6).

Xu H (2001) Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. **J. Crop Prod.**, 3, pp. 183-214.

Xu Z-S, Feng K, Que F, Wang F, Xiong AS (2017) A MYB transcription factor, DcMYB6, is involved in regulating anthocyanin biosynthesis in purple carrot taproots. **Scientific Reports** 7, 45324.

Waliszewski SM, Carvajal O, Gómez-Arroyo S et al. (2008) DDT and HCH Isomer Levels in Soils, Carrot Root and Carrot Leaf Samples. **Bull Environ Contam Toxicol** 81, 343–347.

Wang J, Du D (2014) Vegetable mechanized harvesting technology and its development. Trans. **Chin. Soc. Agric. Mach.**, 45, 81–87.

Wang J, Guan R, Gao P (2020b). Design and experiment of single disc to top cutting device for carrot combine harvester. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, vol. 51, no. 8, pp. 105–113.

Wang J, Li X, Gao P (2020a) Design and experiment of high efficiency drag reducing shovel for carrot combine harvester. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, vol. 51, no. 6, pp. 93–103.

Wang J, Shang S (2012) Development and experiment of double-row self-propelled carrots combine. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, vol. 28, no. 12, pp. 38–43.

Wei MCF, Maldaner LF, Ottoni PMN, Molin JP (2020) Carrot Yield Mapping: A Precision Agriculture Approach Based on Machine Learning. **AI**, 1(2), 229–241.

Wszelaczyńska E, Szczepanek M, Pobereźny J and Kazula MJ (2019) Effect of biostimulant application and long-term storage on the nutritional value of carrot. **Hortic. Bras.** 37 (4): 451-457.

WHO (2021) **Obesidad y sobrepeso**, 2020, Nota descriptiva, Ginebra: World Health Organization.

Winterhalter P, Rouseff RL (2001) **Carotenoid-derived Aroma Compounds**, ACS Symposium Series, vol. 802, American Chemical Society, Washington, DC.

Williams MM, Boydston RA (2006) Volunteer potato interference in carrot. **Weed Science** 54, 94–99.

William RD, Warren GF (1975) Competition between purple nutsedge and vegetables. **Weed Science** 23, 317–323.

World Health Organization (2009) **Global Prevalence of Vitamin A Deficiency in Populations at Risk 1995-2005**: WHO Global Database on Vitamin A Deficiency. Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44110/9789241598019_eng.pdf?sequence=1F. Acessado em: 01 de abril de 2023.

World Health Organization (2021) **World Health Statistics 2021**: Monitoring Health for the SDGs, Sustainable Development Goals.

Wu X, Zhang Y, Qi, R, Li P, Wen Y, Yin Z, Zhang Z, Xu H (2021) Discrimination of isomeric monosaccharide derivatives using collision-induced fingerprinting coupled to ion mobility mass spectrometry. **Talanta**, 224, 121901.

Zaelor J, Kitthawee S (2018) Growth response to population density in larval stage of darkling beetles (Coleoptera; Tenebrionidae) *Tenebrio molitor* and *Zophobas atratus*. **Agric. Nat. Resour.**, 52, 603–606.

Zeng G, Chen J (2018) Design and Experiment on Pull Type of Tassel Fruit Separation for Carrot. **Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.**, 49, 73–79.

Zohair A, Salim A-B, Soyibo AA, Beck AJ (2006) Residues of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides in organically-farmed vegetables. **Chemosphere**, 63(4), 541–553.

Zhu J, Pierskalla W P (2016) Applying a weighted random forests method to extract karst sinkholes from LiDAR data. **Journal of Hydrology**, 533, 343–352.

Apêndice

Tabela1. Análise de componentes principais

Cenoura	Componentes Principais	
	PCI	PCII
Autovalor	4.18 *	3.20 *
Porcentagem de variância	50.69	38.75
Porcentagem cumulativa de variância	50.69	89.48
Autovetor	Coeficiente de Correlação	
Massatotal 82 DAS	0.72	0.68
Massaaerea 82 DAS	0.15	0.73
Massaraiz 82 DAS	0.99**	0.02
Compraz 82 DAS	0.90	0.40
Diamraiz 82 DAS	0.68	-0.70
°Brix 82 DAS	0.71	-0.62
Firmeza 82 DAS	0.72	-0.68
NDVI 82 DAS	0.97 **	0.19
RDVI 82 DAS	-0.34	0.69
SAVI 82 DAS	0.81	0.49
EVI 82 DAS	0.08	0.98**
Autovalor	Contribuição	
82 DAS exp 1	52.17	3.98
116 DAS exp 1	2.43	0.12
82 DAS exp 2	6.45	63.96
116 DAS exp 2	38.96	31.93
Autovetor	Contribuição	
Massatotal 116 DAS	9.38	11.03
Massaaerea 116 DAS	0.41	12.71
Massaraiz 116 DAS	17.67	0.02
Compraz 116 DAS	14.71	3.84
Diamraiz 116 DAS	8.41	11.57
°Brix 116 DAS	9.07	9.10
Firmeza 116 DAS	9.40	11.12
NDVI 116 DAS	16.95	0.84
RDVI 116 DAS	2.09	11.35
SAVI 116 DAS	11.81	5.71
EVI 116 DAS	0.11	22.72

**Significativo $\alpha=0,05$.