



GISELA HÉL NIA NUNES CHIPENETE

**MANEJOS PARA PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE
SEMENTES DE TOMATE**

LAVRAS - MG

2023

GISELA HÉLNIÁ NUNES CHIPENETE

**MANEJOS PARA PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE
TOMATE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof.^a. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos

Orientadora

Prof. Valter Carvalho de Andrade Junior

Coorientador

LAVRAS-MG

2023

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Chipenete, Gisela Hélnia Nunes.

Manejos para produção e armazenamento de sementes de
tomate / Gisela Hélnia Nunes Chipenete. - 2022.

80 p.: il.

Orientador(a): Heloisa Oliveira dos Santos.

Coorientador(a): Valter Carvalho de Andrade Júnior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. Relação semente-fruto. 3.
Técnicas de conservação. I. Santos, Heloisa Oliveira dos. II.
Andrade Júnior, Valter Carvalho de. III. Título.

GISELA HÉL NIA NUNES CHIPENETE

**MANEJOS PARA PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE
TOMATE**

TOMATO SEEDS PRODUCTION AND STORAGE MANAGERMENTS

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2022.

Prof. Dr. Everson Reis Carvalho

UFLA

Prof. Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho

UFLA

Prof. Dr. André Delly Veiga

IFSul de Minas Gerais

Prof. Dra. Patrícia de Oliveira Alvim Veiga

IFSul de Minas Gerais

Prof.^a. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos

Orientadora

Prof. Valter Carvalho de Andrade Junior

Coorientador

LAVRAS-MG

2023

*À Ellington, Ludwin e Lindsley; Lalelete, Ludy e Pepoms
razão do meu viver.
À Cláudio por tornar essa razão possível.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Prof.^a. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos pela orientação.

Ao Prof. Dr. João Almir Oliveira pela orientação, paciência e compreensão de minhas necessidades específicas durante a realização do curso.

Ao Prof. Dr. Valter Carvalho Andrade Júnior pela coorientação, valiosa ajuda prestada no desenho e instalação do experimento no campo.

A Cláudio Chipenete e ao Prof. Dr. Júlio Silvio de Sousa Bueno Filho pela valiosa ajuda na análise estatística dos dados.

A Stefany, José, Luizinho pelo auxílio na condução do experimento em campo e a Jaqueline, Geraldo, Dalva, Rafaela, Roseane e Viviane, Angela (patologia) pelo auxílio e valiosa contribuição na condução do experimento em laboratório.

Aos colegas Juliana, Helismar, Nasma, Jeferson, Marcos Vinícios, demais colegas do Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS) e Iara, Carol (patologia) pela valiosa ajuda e contribuição na realização do experimento, convivência e companheirismo.

Aos bolsistas de iniciação científica Andriele, Pedro, Lucas, Thiago, Matheus, Júlia, Amanda, André, Ricardo e Gabriel, pelo auxílio e ajuda fundamental durante a realização do trabalho.

A UFLA, ao Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia e de Patologia e professores pela construção do conhecimento na área de fitotecnia e tecnologia de sementes.

Às secretárias Marli e Itamar pelo atendimento, colaboração e valioso auxílio. A Joice e equipe do DRI pelo auxílio durante a minha estadia como estrangeira no país.

Ao MCT/IBE- Moçambique pela bolsa de estudos concedida.

Ao IIAM pela oportunidade, em especial ao DR. Ecolé (*in memoriam*) pelo incentivo e apoio.

Ao Dr. Amane pela carta de recomendação e disponibilidade.

A minha amada família Cláudio, Elington, Ludwin e Lindsley pelo cuidado, amor, estímulo e compreensão.

A minha querida mãe Ròró pelo incentivo, paciência, carinho e amor leal. A tia Olga, Ildo, Jenny e Fredy e meu querido irmão Higino pelo carinho, auxílio e amizade.

Aos queridos amigos e companheiros de adoração pela calorosa acolhida, momentos compartilhados e amizade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“Mais cedo ou mais tarde, os que vencem são aqueles que acreditam que conseguem.”

Richard Bach

RESUMO GERAL

A produção de sementes de hortaliças é bastante especializada e exige alto nível de tecnologia e especialização. Tecnologias acessíveis e eficientes que maximizam a utilização de recursos podem propiciar o produtor com a capacidade de produzir sementes de qualidade que são a base para um estabelecimento e desempenho de culturas em campo. A qualidade de sementes de tomate é característica multifacetada que envolve processos a nível de planta e fruto, que dependem de interações entre fatores genéticos, ambientais e práticas de manejo. Foi objetivo na presente pesquisa avaliar como a qualidade da semente de tomate pode ser influenciada pelo manejo da cultura em campo e como técnicas de armazenamento podem influenciar na manutenção da semente durante o armazenamento. Para tanto, foram realizados dois experimentos, um em campo e outro em laboratório. No experimento em campo foi avaliado o efeito do espaçamento de plantas em campo, da posição do cacho na planta sobre a produção e qualidade de sementes e sobre a produção de frutos e no laboratório avaliou-se o efeito do ambiente, do tipo de embalagem e do tratamento químico da semente ao longo do tempo de armazenamento sobre a qualidade de sementes de tomate. Dos resultados foi possível observar que a melhor qualidade da semente foi obtida de plantas com maiores espaçamentos entre linhas (80 e 100 cm) e de frutos nas posições inferior e intermédia da planta (primeiros 4 cachos na planta). Os frutos nestas condições eram maiores e em maior número quando comparados a espaçamentos entre linhas menores (20-60 cm) e frutos na posição superior da planta (cachos 5 e 6). No laboratório, as sementes armazenadas na câmara fria e em envelopes de alumínio conservaram a semente por até 12 meses com germinação acima de 80%. O tratamento da semente propiciou o controle de *Alternaria alternata* e *Penicillium* e maior germinação e vigor de sementes no início do armazenamento e a manutenção das sementes em recipientes de plástico ao ambiente por até 12 meses de armazenamento. As sementes não tratadas, armazenadas em recipientes de plástico ou em papel, independente do tratamento conservaram as sementes por até 9 meses de armazenamento.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Relação Semente-fruto. Qualidade Fisiológica. Tempo de Colheita. Armazenabilidade. Tratamento de Sementes. Recipientes. Ambiente de Armazenamento.

ABSTRACT

The vegetable seed production is quite specialized which requires a high level of technology and core competency. Affordable and efficient technologies that maximize the use of resources could equip the producers with the ability to produce quality seeds that are the basis for a good establishment and performance of crops in the fields. The quality of tomato seeds is a multi-faceted trait that involves processes at the plant and fruit level, which depend on interactions between genetic and environmental factors and management practices. The aims of this research were to evaluate how tomato seed quality can be influenced by crop management in the field and how can storage techniques influence seed maintenance. As to, were carried out two experiments on field and laboratory. On the field experiment, was evaluated the effect of row spacing between plants on field and the clusters position on the plant on the fruit production and quality seeds over production time. On laboratory experiment was evaluated the effect of type packaging, chemical treatment and the storage environment on seed quality over storage time. Thus, it is concluded from the research work that maximum values for seed quality was obtained from plants with major rows spacing between plants (80 and 100 cm) and from fruits in the lower and intermediate positions on the plant (first 4 clusters on the plant). The fruits under these conditions were bigger and numerous in relation to smaller ones (20-60 cm) and fruits in the upper plant position (clusters 5 and 6). In the laboratory experiment, seeds stored in a cold chamber and in aluminum envelopes preserved the seed for up to 12 months with germination above 80%. Seed treatment provided control of *Alternaria alternata* and *Penicillium* and greater germination and vigor of seeds at the beginning of storage and maintenance of seeds in plastic containers in the environment for up to 12 months of storage. Untreated seeds, stored in plastic or paper containers, regardless of the treatment, preserved the seeds for up to 9 months of storage.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Seed-fruit Relation. Physiological Quality. Harvest Time. Storability. Seed Storage Containers. Seed Treatment. Seed Storage Environment.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	O cultivo do tomateiro.....	12
2.2	Mercado de sementes de tomate.....	13
2.3	Qualidade da semente: estágio de maturação tardia.....	14
2.4	Relação fruto-semente.....	15
2.4.1	Estágios de desenvolvimento do fruto e da semente.....	16
2.4.2	Fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento de sementes e frutos.....	19
2.5	Manutenção da qualidade da semente durante o armazenamento.....	22
2.5.1	Fatores que afetam o armazenamento da semente.....	23
2.5.2	Técnicas de conservação de sementes durante o armazenamento.....	27
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	29
	REFERÊNCIAS.....	31
	CAPÍTULO 2 EFEITO DO ESPAÇAMENTO ENTRE PLANTAS E DA POSIÇÃO DO CACHO NA PLANTA SOBRE A QUALIDADE DE SEMENTES DE TOMATE.....	39
1	INTRODUÇÃO.....	41
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	CAPÍTULO 3 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE SEMENTES DE TOMATE..	61
1	INTRODUÇÃO.....	63
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
4	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultura solanácea originária da região andina, América do Sul, tem sido utilizado como base para pesquisa biológica e melhoramento de frutos carnosos, devido a sua importância econômica, ciclo de vida curto, autopolinização, alta taxa de multiplicação e cruzamentos fáceis (PIRRELLO et al., 2014). Apesar de seu cultivo ser viável até para pequenos agricultores e o custo da semente seja de apenas 7% do custo total de produção, este é ainda considerável e condições climáticas desfavoráveis podem causar a queda de produtividade e qualidade de frutos e sementes expondo os produtores aos riscos de produção e oscilação de preços de mercado (RIBEIRO et al., 2019; SOCOLOSKI et al., 2017; MELO, 2014).

Na produção de sementes de frutos carnosos, como o tomate, o ponto de colheita do fruto tem recebido maior atenção na atribuição de características que conferem qualidade a semente. O papel do estágio de maturação do fruto em relação a maturidade da semente está bem estabelecido e documentado na literatura (BERRY; BEWLEY, 1991; BIZOUERNE et al., 2021; BORGES et al., 2019). De fato, o estágio de maturação na colheita é o principal fator que determina a qualidade fisiológica das sementes e o estabelecimento das mudas (LEPRINCE et al., 2017). No tomate, por exemplo, sementes fisiologicamente maduras com máxima germinação, vigor e longevidade são correlacionadas a frutos maduros, com a cor vermelha e polpa firme no final da maturação (BORGES et al., 2019).

Entretanto, algumas evidências apontam para características físicas da semente como tamanho, peso (KHAN et al., 2012), malformação embrionária e reduções no provisionamento (MARCOS-FILHO, 2016) como influenciando a qualidade final da semente. Tais características, são o resultado de uma interação complexa entre o processo de desenvolvimento dos frutos (que compreende as fases de divisão celular, expansão celular e amadurecimento) e das sementes (desde a embriogênese, enchimento até a maturação tardia) como resposta ao microclima criado em volta das plantas em desenvolvimento no campo (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020).

Esta relação, fruto - semente, é estabelecida logo após polinização e fertilização quando a semente em formação causa um aumento na concentração de hormônios (auxinas, giberelinas, brassinosteróides, citocininas, poliaminas, etileno e outros) cuja atividade sincronizada induz a diferenciação do ovário em fruto impulsionando e regulando seu desenvolvimento que ocorre concomitantemente ao desenvolvimento da semente (KUMAR; KHURANA; SHARMA,

2014). O aumento local na concentração de hormônios estimula a atividade metabólica induzindo o transporte de nutrientes de outras áreas para o fruto, impactando sobre a taxa de pegamento do fruto, o desenvolvimento, a forma e tamanho final deste (RUAN et al., 2012; SRIVASTAVA, 2002).

Por isso, o maior número de frutos abortados ou de frutos com tamanho menor tem sido associado a uma polinização deficiente, a ausência ou má formação da semente (AN et al., 2020) ou, ainda são correlacionados a menor número e peso de sementes em desenvolvimento dentro do fruto (PRUDENT et al., 2014; KHAN et al., 2012) e consequente baixa qualidade e vigor da semente (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; KHAN et al., 2012). Além disso, alguns autores encontraram diferenças na qualidade de sementes extraídas de frutos com mesmas características de maturação, associadas a práticas culturais que afetam a produção de frutos como: posição do fruto na planta, densidade de plantas, entre outras em algumas culturas como tomate (DIAS et al., 2006), quiabo (SHARMA et al., 2018), pimentão (SBIRCIOG, 2015), pepino (NAVITHA; SUJATHA; BEAULAH, 2019) e melão (KORTSE; OLADIRAN; MSAAKPA, 2012).

Estas evidências devem receber mais atenção na otimização de características para produção de sementes em frutos carnosos. Sob outro enfoque, os esforços empreendidos para obtenção de sementes de alta qualidade em campo só vão compensar se esta for mantida até o momento da semeadura que tanto dependerá da forma como for conservada. Na prática comercial, sementes com baixo teor de água armazenadas em recipientes impermeáveis, a baixas temperaturas e umidade relativa (UR) são recomendados para o armazenamento comercial de sementes de hortaliças (SOLBERG et al., 2020; DESHEVA, 2016; WALTERS; WHEELER; GROTEHUIS, 2005).

Estes, vão propiciar baixa taxa de respiração, de absorção de vapor de água do ambiente e de proliferação de patógenos prevenindo reações metabólicas que levam ao envelhecimento e/ou deterioração da semente durante o armazenamento (HAY; REZAEI; BUITINK, 2022; ZHANG et al., 2021; CHOCHAN et al., 2017). No entanto, condições de armazenamento ideais nem sempre estão disponíveis e para manter a qualidade da semente até a semeadura daí, a necessidade de testar e adotar técnicas de conservação de acordo com a disponibilidade e acesso local. Neste intuito, no presente capítulo são revisados aspectos da relação semente-fruto e ambiente de cultivo bem como os processos que levam a deterioração da semente durante o armazenamento a seco e como estes podem ser controlados visando a sua conservação até a semeadura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O cultivo do tomateiro

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta da família das solanáceas, originária da região andina da América do Sul (Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Chile e Venezuela) tendo seu centro de origem o Peru, e de domesticação e difusão o México (BERGOUGNOUX, 2014; KNAPP; PERALTA, 2016; SAAVEDRA; FIGUEROA; CAUIH, 2017). Além de utilizada como base para pesquisa biológica e melhoramento de frutos carnosos, a espécie tem seus frutos muito apreciados na culinária em diversos países sendo consumidos tanto *in natura* quanto após processos industriais (CHAUDHARY et al., 2019; COLOMBIÉ et al., 2017).

O tomate possui elevado valor nutricional, contendo ácidos graxos e aminoácidos essenciais, além de antioxidantes como licopeno, ácido ascórbico, α e β -caroteno, flavonoides, ácidos fenólicos e minerais (Ca, Cu, Mn, Zn, P, K, Na, F e Se) por isso, pode ser utilizado para melhoria da saúde humana (BERGOUGNOUX, 2014; ELBADRAWY; SELLO, 2016).

É a cultura olerícola de maior valor comercial produzida em todo o mundo. Segundo dados da FAOSTAT (2021) a produção global de tomate foi acima de 180 milhões de toneladas, numa área de 5 milhões de hectares, em 2019. Os maiores produtores foram a China, EUA e Índia ocupando o primeiro, segundo e terceiro lugar respectivamente. O Brasil ocupou a 9ª posição com uma produção de mais de 3,9 milhões de toneladas numa área de 54,5 mil hectares, naquele ano e em 2020, o valor básico de produção (VBP) foi de R\$ 10,7 bilhões segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2020).

A produção de tomate no Brasil segue dois seguimentos: mesa e indústria com 63 e 37% do total da produção, respectivamente, no ano de 2019. É produzido nas regiões Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul do Brasil, com 50 mil estabelecimentos, dos quais boa parte é de gestão familiar. O tomate de mesa tutorado, que representa 50% da produção total, é mais comum no Sudeste e no Sul, e o de mesa rasteiro, cerca de 13%, no Nordeste e Goiás e o de indústria nos estados de Goiás, Minas Gerais, e São Paulo (BOTEON; DELEO; MOREIRA, 2020).

Segundo BOTEON; DELEO; MOREIRA (2020), no ano de 2019, o tomate de mesa rendeu R\$3,5 bilhões e foi produzido em 48,7 mil fazendas sendo que em 44,2 mil foi produzido tomate em sistema tutorado e em 5,4 mil fazendas tomate tipo rasteiro. Produtores familiares gerenciam cerca de 82 e 78% das propriedades produtoras de tomate tutorado e rasteiro, respectivamente, com uma contribuição nacional de 38% do valor do tomate tutorado e 10% do valor do tomate rasteiro na produção nacional. Cerca de 60% das fazendas produtoras de

tomate de mesa tutorado têm acima de 20 hectares e, estão concentradas no Sudeste e no Sul com um perfil de produção de grande porte. As restantes 40% têm até 5ha, concentradas no Nordeste, com alguma representação no Sul e Goiás. Já o tomate rasteiro é produzido em grande escala em Goiás, Minas Gerais e São Paulo e, no Nordeste em pequena escala representando 59 dos 94% dos estabelecimentos com tomate rasteiro.

No ano de 2020, em meio a pandemia do COVID-19, houve redução da área total cultivada de tomate em 4,4% e do valor de produção em 2,9% (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUTI, 2020). Devido ao efeito da crise, o custo de produção desestimulou os produtores e estes reduziram a área plantada. Os períodos de quarentena, as incertezas associadas, a redução da demanda em escolas, restaurantes e hotéis, a pressão de preços e custos de produção e o aumento do dólar, este último impactando sobre o preço dos insumos (fertilizantes, defensivos e sementes), tornaram a produção do tomate mais onerosa, com impactos especialmente para os pequenos produtores, sem acesso ao mercado (IBGE setembro, 2020).

Além dos custos de produção, a incerteza climática é outro fator que pode afetar a produção da cultura. Condições climáticas desfavoráveis em temperatura e umidade elevada causam a queda de produtividade e qualidade de frutos, o que expõe os produtores aos riscos de produção e oscilação de preços de mercado. Mas, apesar disso, ainda é viável a produção de tomate (RIBEIRO et al., 2019; SOCOLOSKI et al., 2017), muito embora, ainda haja a necessidade de se aprimorar tecnologias mais acessíveis para minimizar os custos de produção e aumentar a eficiência de produção. Dentro os insumos no custo de produção o valor das sementes é considerável.

2.2 Mercado de sementes de tomate

O histórico da comercialização de sementes de tomate no Brasil inicia com a introdução de sementes do cultivar San Marzano por Italianos em 1870. Na década 1910 a demanda por “massa de tomate”, cresceu, sendo que esta podia ser obtida artesanalmente ou importada. A produção de tomate expandiu no estado de São Paulo e imigrantes Japoneses trocaram a lavoura de café pelo cultivo de hortaliças e frutas marcando o crescimento significativo da olericultura com destaque para produção de tomate (MELO, 2014). Em 1925, iniciou-se a produção de tomate de mesa, levando à importação de cultivares da América do Norte e Europa (BRASIL, 1968; MELO, 2017).

A partir da década 1990 a indústria de sementes no Brasil experimenta muitas mudanças. Com a entrada do Brasil na OMC, uma série de mudanças e adaptações na legislação nacional sobretudo em propriedade intelectual, tanto relacionado à pesquisa pública e privada, indústria de sementes, comércio e os órgãos públicos encarregados da implementação das políticas para o setor agrícola. Isso levou à criação de um ambiente favorável para a atuação de empresas privadas, além da intensificação do uso da biotecnologia moderna na agricultura. Com isso, grandes empresas multinacionais entram no cenário de setor sementeiro no Brasil (ABRASEM, 2016), levando ao aumento de novas cultivares, estimulado pela concorrência entre estas.

Em 2020 o mercado de sementes de hortaliças no Brasil movimentou cerca de US\$ 1,2 bilhão com destaque para a produção de sementes de tomate, cebola, cenoura, brassicas e folhosas, com o mercado de sementes de tomate representando cerca de 24% do total de sementes de hortaliças comercializadas naquele ano (SEED NEWS, 2020).

Grande parte da semente é importada, e possui grande valor agregado, como alta tecnologia e inovação que, embora constitua apenas 7% do custo total de produção, constitui um custo considerável (MELO, 2014).

2.3 Qualidade da semente: estágio de maturação tardia

A qualidade da semente é representada pelo somatório dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (CARVALHO; NAKAGAWA, 2005). Sementes de alta qualidade são mais efetivas na mobilização de reservas energéticas, permitindo uma germinação mais rápida e uniforme em campo (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016). Por outro lado, sementes de baixa qualidade tendem a originar estandes desuniformes, com falhas na emergência que podem comprometer a produtividade e a qualidade final do produto. Na produção de hortaliças a qualidade da semente tem especial importância pois, por serem geralmente pequenas, com poucas reservas o efeito das condições adversas de campo é ainda maior (NASCIMENTO; DIAS; SILVA, 2011).

As sementes ortodoxas adquirem as características de germinação e vigor (qualidade fisiológica da semente) durante a maturação tardia, quando o embrião e o endosperma param de se expandir e passam a acumular reservas de armazenamento (LEPRINCE et al., 2017). No tomate, a deposição de proteínas de armazenamento inicia aos 20 dias após polinização (DAP) e resulta em rápido ganho de peso fresco e seco da semente que correspondem à formação do endosperma duro e ao rápido desenvolvimento do embrião (BERRY; BEWLEY, 1991). O pico na deposição de proteínas de armazenamento no embrião é atingido aos 35 DPA e aos 40 DAP,

quando o conteúdo de proteínas no embrião chega ao máximo, o tamanho e peso seco da semente são atingidos, o embrião completa a sua maturação (BERRY; BEWLEY, 1991).

Nisto, a partir dos 40 DPA as sementes adquirem a dormência e resistência contra a deterioração a alta umidade e temperatura que, dependendo das condições de crescimento, tal dormência pode ser parcial e progressivamente liberada no final da maturação propiciando o aumento gradativo da germinação, da velocidade de germinação e da longevidade, assegurando que a semente adquira a tolerância a dessecação (BIZOUERNE et al., 2021). Esta, a confere a semente a capacidade de se manter viável após extração, secagem e armazenamento até a semeadura.

Os mecanismos por trás da tolerância a dessecação estão associados ao acúmulo açúcares não redutores da família da rafinose (RFO`s) e das proteínas abundantes de embriogênese tardia (proteínas LEA), das proteínas de choque térmico (HSPs) e de antioxidantes de baixo peso molecular (glutathiona, tocoferóis e carotenóides) em substituição da água no citoplasma estabilizando, assim os componentes celulares restringindo severamente a mobilidade celular prevenindo a matriz celular contra eventos prejudiciais como as reações de Amadori e Maillard, peroxidação lipídica ou carbonilação de proteínas (DIRK; DOWNIE, 2018; SANO et al., 2016; SMOLIKOVA et al., 2021). Posto isso, a semente entra num estado de repouso fisiológico, criptobiose denominado quiescência, completando, assim a sua maturidade fisiológica.

No entanto, em frutos carnosos, cujas sementes se desenvolvem no seu interior, o ponto de colheita do fruto recebe maior atenção na atribuição de características que conferem qualidade a semente. O papel do estágio de maturação do fruto em relação a maturidade da semente está bem estabelecido e documentado na literatura (BERRY; BEWLEY, 1991; BIZOUERNE et al., 2021; BORGES et al., 2019). No tomate, por exemplo, sementes fisiologicamente maduras com máxima germinação, vigor e longevidade são correlacionadas a frutos maduros, com a cor vermelha e polpa firme no final da maturação (BORGES et al., 2019). Todavia, analisando a relação semente-fruto pode-se observar que outras características do fruto podem estar diretamente associadas a formação, crescimento e desenvolvimento da semente afetando a sua qualidade fisiológica.

2.4 Relação fruto-semente

A relação semente – fruto inicia logo após a dupla fertilização quando uma das células espermáticas se funde com o óvulo formando o zigoto, e a outra se une aos núcleos polares

dando origem ao endosperma (GE; CHEUNG; QU, 2019; BEWLEY et al., 2013). Nisto, o ovário se desenvolve e se diferencia em fruto e ambos, semente e fruto, sofrem um desenvolvimento simultâneo regulado por hormônios (SRIVASTAVA; HANDA, 2005). A atividade hormonal da semente em formação leva a um aumento local na concentração de auxina que ativa a biossíntese de giberelina cuja atividade sincronizada controla a diferenciação do ovário em fruto impulsionando o desenvolvimento do fruto (AN et al., 2020; KUMAR; KHURANA; SHARMA, 2014; SRIVASTAVA, 2002).

Daí, os hormônios sintetizados na semente em desenvolvimento (auxinas, giberelinas, brassinosteroides, citocininas, poliaminas, etileno e outros) começam imediatamente a regular o crescimento do fruto aumentando a atividade metabólica induzindo o transporte de nutrientes de outras áreas para o fruto, impactando na fixação do fruto, desenvolvimento, forma e tamanho final deste estabelecendo assim, uma estreita relação entre os caracteres da semente (como a presença, número, tamanho e distribuição dentro do fruto) com a formação, retenção, o crescimento, desenvolvimento e a qualidade do fruto (BALAGUERRA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020).

Por exemplo, no tomate a presença e formação adequada de sementes foi associada a maior produção de hormônios cuja atividade influencia a expressão de genes (AN et al., 2020; XIAO et al., 2009), atividade enzimática (OSORIO; RUAN; FERNIE, 2014) e a funcionalidade da membrana do pericarpo no fruto (AZZI et al., 2015) que levam ao desenvolvimento normal do fruto com crescimento celular ideal que, por sua vez, determina o tamanho final do fruto.

Neste aspecto, frutos de tamanho maior foram correlacionados ao maior número (SALIM et al., 2020; PRUDENT et al., 2014), tamanho e peso (RUAN et al., 2012) de sementes dentro do fruto em desenvolvimento que, por sua vez, são características associadas a maior germinação e vigor de sementes e ao melhor estabelecimento de plântulas em campo (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; PRUDENT et al., 2014; KHAN et al., 2012; ZANOR et al., 2009). Sendo assim, as características do fruto e as mudanças observadas nos frutos em desenvolvimento podem indicar o estágio de desenvolvimento e maturação da semente dentro do fruto.

2.4.1 Estágios de desenvolvimento do fruto e da semente

O desenvolvimento do fruto inicia com o desenvolvimento do ovário, aproximadamente 3 semanas após sementeira e é seguido da antese (quando ocorre a ruptura das anteras para liberar o pólen), que determina a decisão de abortar ou de continuidade no desenvolvimento

com a fertilização bem sucedida que ocorre em até 3 dias após a antese (AZZI et al., 2015; SRIVASTAVA, 2002).

Após a fertilização e pegamento do fruto (decisão de continuar o desenvolvimento) o desenvolvimento do fruto prossegue com um período de divisão celular muito ativa dentro do ovário que dura de 8 a 25 dias após antese, dependendo do genótipo no final do qual o número de camadas de células através do pericarpo dobrou em comparação com o da antese (AZZI et al., 2015; BERTIN et al., 2007, 2009). Nisto, até 20 dias após antese a semente sofreu histodiferenciação levando a formação do embrião, do endosperma e do tegumento, mas o seu conteúdo de água é alto (BIZOUERNE et al., 2021; BORGES et al., 2019; BERRY; BEWLEY, 1991).

Mais ou menos 20 dias após antese inicia a fase de expansão celular no fruto. Esta inicia quando a divisão celular diminui e é desencadeada pela entrada de água na célula, dependendo do gradiente caule-fruto do potencial hídrico gerado pelo potencial osmótico que existe entre tecidos fonte e dreno (WHITE et al., 2016). A sacarose produzida a partir da fotossíntese durante o dia, ou da degradação do amido durante a noite se acumula no floema da folha e aminoácidos produzidos nas raízes ou da degradação de proteínas de folhas senescentes, se acumulam nas raízes criando um alto potencial osmótico que atrai água. Isso cria alta pressão hidrostática que direciona o fluxo de massa da solução para órgãos dreno, no caso o fruto em desenvolvimento (BUSH, 2020; TEGEDER, 2014).

Com isso, o compartimento vacuolar e o índice de vacuolização celular aumentam, no final do qual (~35 dias após antese) células individuais no tecido do mesocarpo dos frutos atingem volumes cerca de 30000 vezes maior em relação ao volume inicial da célula na antese e pode corresponder a um aumento de mais de 0,5 mm de diâmetro (AZZI, et al., 2015 e suas referências). Nesse ínterim, a partir dos 20 dias após antese o volume de água na semente começa a diminuir devido a deposição de proteínas de armazenamento na semente, observado pelo aumento do peso da semente (BIZOURNE et al., 2021) e inicia a maturação do embrião (BALAGUERRA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020).

Entretanto, outro fenômeno associado ao aumento do tamanho das células do pericarpo no fruto de tomate, a chamada endo-reduplicação. A endo-reduplicação é a capacidade que as células de muitas espécies têm de modificar suas características clássicas do ciclo celular num ciclo parcial onde a síntese de DNA é desacoplada da mitose (PIRRELLO et al., 2014; BERTIN et al., 2007). Induzida pela ação de hormônios como auxinas (SU et al., 2015, 2014; APRI et al., 2014), ácido abscísico (ABA) (NITSCH et al., 2012) e outros a endo-reduplicação no tomate ocorre no início do desenvolvimento do fruto, bem antes da expansão massiva, e continua até

o amadurecimento, gera conteúdos de DNA nuclear de até 256C e até 512C (onde C é a quantidade de DNA associada a um complemento cromossômico) de seu tamanho inicial dentro das células de diâmetros médios variando de 10 a 350 nm (PIRRELLO et al., 2014 e referências).

O aumento no conteúdo de DNA resultante da endo-reduplicação induz a uma hipertrofia do núcleo que predispõe as células a ajustar seu tamanho final a um volume citoplasmático em relação ao conteúdo de DNA do núcleo, positivamente correlacionado com o tamanho final da célula (APRI et al., 2014; MATHEIEU-RIVET et al., 2010; BERTIN, 2005). No final da fase de expansão celular o fruto já atingiu a maturidade fisiológica, quando o tamanho do fruto é máximo e possui a capacidade de amadurecimento, mesmo após desprendido da planta mãe dando início a fase de amadurecimento (ANWAR; MATOO; HANDA, 2019).

O amadurecimento é a fase final de desenvolvimento do fruto durante o qual, o fruto sofre alterações fisiológicas e bioquímicas que incluem mudanças na cor, sabor, aroma e perda de firmeza. Estas mudanças são desencadeadas como indicação da maturação completa da semente e o lóculo ao redor das sementes liquefeito (BRUMOS, 2021). No tomate, quando as sementes amadurecem o fruto apresenta um dramático aumento na taxa de respiração seguida de um aumento da biossíntese de etileno, que por sua vez induz expressão gênica para a biossíntese de carotenóides, para várias hidrolases de parede e para enzimas no metabolismo amido-açúcar, bem como para a sua própria síntese (autocatálise) (BRUMOS, 2021; SRIVASTAVA, 2002).

Essas mudanças desencadeiam o início do amadurecimento do fruto, o estágio de verde maduro. O aumento da taxa respiratória deve-se a atividade do sistema oxidase alternativo independente (AOX) no qual ocorre a oxidação do carbono reduzido, mas nenhuma energia é aproveitada na forma de ATP. Já o etileno atua como indutor de muitos genes associados a mudanças de cor, mudanças nas reservas de carboidratos e amolecimento da polpa (ANWAR; MATOO; HANDA, 2019; SRIVASTAVA, 2002).

A mudança de cor do verde maduro para maduro envolve uma transição de cloroplastos para cromoplastos. As membranas dos tilacóides e os pigmentos de clorofila são quebrados e há um acúmulo progressivo de novos pigmentos carotenóides nos plastídios. No tomate estes incluem β -caroteno e licopeno, que são responsáveis pela cor laranja e vermelha do fruto, respectivamente. A síntese de licopeno é induzida pelo etileno (SHINOZAKI et al., 2018).

A cor do fruto verde maduro marca o fim da fase de enchimento da semente e a água da semente já atingiu 50% do peso fresco da semente, cerca de 1g de água/g de peso seco e

permanece assim, alto até o final do desenvolvimento da semente (BIZOUERNE et al., 2021; BORGES et al., 2019; BERRY; BEWLWY, 1991). Quando o enchimento está quase encerrado (~40 dias após antese) inicia a solidificação do endosperma que marca a fase de maturação tardia e dura 40 dias a frente. Com isso, as sementes adquirem a dormência e resistência contra a deterioração em alta umidade e temperatura (dos 35 aos 40 dias após antese) (BIZOUERNE et al., 2021).

Dependendo das condições de crescimento a dormência pode ser parcialmente liberada no final da fase de maturação da semente. Nisto, a germinação, a velocidade de germinação e a longevidade (medida pelo P50, o tempo necessário para a semente perder 50% da germinação) aumentam progressivamente atribuído a liberação gradual da dormência primária e a semente adquire a tolerância a dessecação (dos 35 aos 56 dias após antese). Durante a maturação tardia a cor do fruto vai mudando de verde maduro a vermelho intenso e, para fins de colheita de sementes a colheita é recomendada após 50 -60 dias após antese quando os frutos apresentam a coloração vermelha e polpa firme (BIZOUERNE et al., 2021).

Assim, frutos maiores colhidos no vermelho firme se correlacionam a maior qualidade da semente e o manejo da cultura em campo deve levar em conta os fatores que favorecem tais características.

2.4.2 Fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento de sementes e frutos

O microclima criado em volta das sementes em desenvolvimento no campo afeta a qualidade da semente por isso, o manejo da cultura em campo deve ser cuidadoso com objetivo de proporcionar um ambiente mais favorável que propicia a obtenção de sementes de qualidade. Em campo, a produção de frutos recebe maior atenção do produtor pois, fatores que afetam o pegamento, crescimento e desenvolvimento do fruto podem afetar significativamente a qualidade da semente em desenvolvimento (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020; GUTTERMAN, 2000).

Por exemplo, nos frutos verdadeiros como o tomate, o pegamento de sementes e frutos marca o início do desenvolvimento e estes dependem da polinização bem sucedida e fertilização do óvulo. O estresse hídrico, por frio ou calor podem inviabilizar o pólen e afetar negativamente a formação das sementes e frutos. O tomate desenvolve melhor na estação mais seca, numa faixa de temperatura de 20 a 30 °C (PANTHEE; KRESSIN; PIOTROWSKI, 2018; BERTIN, 2005). Temperaturas inferiores a 12 °C podem afetar a frutificação e causar abortamento de flores (KHAN et al., 2012). Dependendo da cultivar, sob estresse por calor (temperaturas acima

de 30 °C) ou diferenças entre dia e noite acima de 10 °C a viabilidade do pólen diminui e a fixação dos frutos é inibida devido ao murchamento das flores e abscisão anormal (ALSAMIR et al., 2021; BERTIN, 2005; GIORDANO et al., 2005; SILVA; LEITE; BRAZ, 2000).

A polinização deficiente impacta diretamente no pegamento de sementes e frutos e determina o potencial de rendimento da cultura (RUAN et al., 2012). A malformação da semente devido ao estresse por calor leva a diminuição na síntese e atuação das proteínas que promovem a divisão celular, diferenciação, expansão celular e da capacidade de fonte no fruto (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020) como consequência, os frutos não vingam ou não crescem devido ao menor tamanho das células (ZHAO et al., 2021; SU et al., 2015; APRI et al., 2014; PIRRELLO et al., 2014; BERTIN, 2005; BERTIN; GAUTIER; ROCHE, 2002). De onde, o menor número de sementes por fruto leva ao menor número e peso dos frutos (PEET; SATO; GARDNER, 1998) e a um maior tempo para estes se desenvolverem em frutos normais (PRUDENT et al., 2014).

Além disso, altas temperaturas afetam a eficiência de conversão do carbono do substrato, que impulsiona as atividades de crescimento e reparo. No tomate, a eficiência de conversão a 30 °C é cerca de 25% do ótimo (21 °C) e se assemelha aos níveis de eficiência na temperatura subótima a 15 °C (PANTHEE; KRESSIN; PIOTROWSKI, 2018 e autores citados). Diferenças de temperatura dia/noite também afetam a qualidade final dos frutos e das sementes em desenvolvimento. Li et al. (2015) observaram que diferenças de temperatura dia/noite superiores à 10 °C podem resultar na depressão no crescimento, na diminuição da altura das plantas, no desenvolvimento foliar e na depressão da floração retardando-a em 2 a 4 dias resultando em abortos de flores e consequente menor tamanho dos frutos.

Por outro lado, a posição do fruto na planta também pode influenciar a qualidade final da semente em desenvolvimento. Frutos de cachos nas posições mais inferiores na planta e no cacho são maiores e apresentam sementes com maior germinação e vigor (DIAS et al., 2006; BERTIN; GAUTIER; ROCHE, 2002; BERTIN et al., 1998). Isto se deve ao fato de que os frutos nas posições mais baixas permanecem por mais tempo na planta, absorvem mais nutrientes e minerais que vão diminuindo em direção ao topo da planta resultando no menor peso da semente, redução do vigor e viabilidade das sementes dos frutos na posição superior da planta (SHARMA et al., 2018).

Por exemplo, Bertin et al. (1998) observaram que os primeiros frutos no cacho de tomate, a que chamaram de frutos proximais, têm maior habilidade de competir por assimilados devido a maior capacidade de receber assimilados móveis do floema o que propicia um rápido acúmulo de matéria seca nos primeiros 25 dias após antese. Isto, segundo tais autores, causa

dominância dos primeiros frutos no caule e no cacho que monopolizam os assimilados possibilitando seu maior tamanho potencial e peso e maior número e peso de sementes. O maior tamanho dos frutos proximais foi atribuído ao maior número de células durante a antese e a sequência da polinização no cacho que controla parcialmente a taxa de divisão celular durante o crescimento dos frutos. Bertin et al. (1998) também observaram que os primeiros 2 cachos na planta tiveram maior número de frutos e maior peso de sementes em relação aos demais.

Outro fator que afeta sobremaneira a produção de frutos e sementes é o arranjo de plantas no campo. Kang et al. (2011) observaram que a probabilidade total de frutificação no tomate, sendo razão entre o fruto total e o número de botões florais, diminuiu com a densidade da planta. O peso seco total do fruto por planta e o peso médio do fruto individual dos primeiros três frutos nos cachos 1 e 2 na colheita final diminuiu com a densidade da planta. Estes autores também observaram que em altas densidades o crescimento rápido de órgãos vegetativos é promovido e o crescimento de frutos é retardado enquanto que a densidades mais baixas a demanda foi aumentada, correspondendo a uma expansão de frutos individuais foi mais rápida.

Entre as razões apontadas para o efeito, no tomate, estavam o sombreamento mútuo para altas densidades, maior evapotranspiração do solo, estresse ao tomate devido a maior intensidade de radiação e pouco sombreamento em densidades menores e maior eficiência de interceptação de radiação em densidades medianas (KRISHNAPRABU, 2020) e a condições ambientais, agronômicas e variedade (DANNEHL et al., 2014). Em outras culturas como cenoura também foi relatado um maior rendimento de sementes por planta, peso, porcentagem de germinação e vigor de sementes em plantas com espaçamentos mais amplos quando comparados a sementes de plantas com espaçamentos mais ajustados.

Ainda outro fator que afeta a qualidade da semente é a idade dos frutos e sementes. Borges et al. (2019) relataram que aos 50 dias após polinização (50 DAP) os frutos estavam com a coloração transitória de verde para vermelho e no vermelho firme só aos 60 DAP, também observado por Bertin et al. (2007) para genótipos de fruto grande e Bizouerne et al. (2021). No entanto, as condições de clima podem acelerar ou desacelerar a maturação do fruto e da semente. Por exemplo, Singkaew et al. (2017) que compararam a maturação de frutos de tomate em duas estações (inverno e verão) reportaram que o inverno atrasou significativamente a maturação em 10 dias que foi aos 60 DAP e no verão (estação chuvosa: 2.7 W.m⁻². 29.5°C dia. 23.3°C noite. 73.3% RH ao dia 85.1% RH noite) aos 50 DAP. Estes autores relataram os estádios de verde maduro e vermelho claro aos 40 e 50 DAP, respectivamente no verão e 10 dias depois no inverno.

Todavia, em algumas situações, a cor vermelha nem sempre indica maturação fisiológica do fruto. A alta irradiância e alta temperatura pode causar a ocorrência de estresse oxidativo e este pode aumentar coordenadamente com a maturação dos frutos facilitando mudanças metabólicas. Nisso, para proteger os fotossistemas e as células dos frutos do estresse oxidativo, altas quantidades de compostos oxidantes lipossolúveis como licopeno e β -caroteno podem se acumular no fruto conferindo-os a cor vermelha sem que estes tenham atingindo a maturidade fisiológica (LIU et al., 2015).

Por conseguinte, conforme sugerido por Balaguera-López; Fischer; Magnitskiy (2020) a formação e desenvolvimento do fruto tem estreita relação com os caracteres da semente como presença, número, tamanho e distribuição destas em desenvolvimento no seu interior. Estas, são responsáveis pelo estabelecimento da frutificação, retenção do fruto na planta, crescimento e qualidade dos frutos. Tais efeitos sobre a frutificação estão, associados a fatores que afetam a frutificação e o crescimento dos frutos como o estresse por calor (PANTHEE; KRESSIN; PIOTROWSKI, 2018; RUAN et al., 2012; SATO et al., 2006), posição dos frutos na planta (DIAS et al., 2006), arranjo de plantas no campo (KANG et al., 2011), a idade do fruto (BORGES et al., 2019), conforme elucidado anteriormente. No entanto, a semente só manterá sua qualidade até o momento de semeadura se esta for armazenada de maneira adequada.

2.5 Manutenção da qualidade da semente durante o armazenamento

Após a maturação fisiológica a semente já adquiriu a capacidade de germinar, o vigor e tolerância a dessecação que a confere a capacidade de se manter viável após extração, secagem e armazenamento até a semeadura. Nisto, a semente está provida de um mecanismo natural de proteção e reparo que previne ou neutraliza os danos sofridos durante a dessecação, enquanto no estado seco e durante a germinação (DIRK; DOWNIE, 2018).

O mecanismo de proteção inclui a formação do citoplasma vítreo adquirido pela substituição da água e açúcares redutores por oligossacarídeos não redutores da família da rafinose (RFO's). Estes açúcares não redutores evitam a fusão de vesículas adjacentes, mantendo os lipídeos na forma fluida durante a dessecação protegendo, assim a membrana contra danos devido a desidratação (SANO et al., 2016 e autores citados).

Os açúcares não redutores associados a proteínas abundantes de embriogênese tardia (proteínas LEA), proteínas de choque térmico (HSPs) e antioxidantes de baixo peso molecular (glutathione, tocoferóis e carotenóides), que se acumulam durante o estágio de maturação tardia, estabilizam os componentes celulares restringindo severamente a mobilidade celular

previnindo a matriz celular contra eventos prejudiciais como as reações de Amadori e Maillard, peroxidação lipídica ou carbonilação de proteínas (DIRK; DOWNIE, 2018; SANO et al., 2016; SMOLIKOVA et al., 2021).

E o sistema de reparo, munido de enzimas como DNA glicosilase e metionina sulfóxido redutase, remove os danos acumulados no RNA, DNA e proteínas durante a embebição/reidratação recuperando e mantendo o proteoma funcional (DIRK; DOWNIE, 2018; SANO et al., 2016). No entanto, mesmo com tal proteção e sob restrições extremas na mobilidade molecular imposta pelo citoplasma vítreo, sementes secas maduras gradualmente acumulam danos celulares por envelhecimento natural e/ou eventos de deterioração (WALTERS; WHEELER; GROTENHUIS, 2005).

No armazenamento a seco, os constituintes celulares (proteínas, lipídeos, ácidos nucleicos, açúcares) são submetidos a alteração progressiva por processos de auto-oxidação que de forma irreversível, cumulativa e permanente levam a danos sérios que excederiam a sua capacidade de se reparar (ZHANG et al., 2021 e autores citados). Estes eventos levam a deterioração da semente, ou seja, a perda de vigor e da capacidade de germinação e até morte irreversível do embrião devido a depressão da capacidade protetora contra o estresse oxidativo, dano a membrana plasmática, consumo de reservas e dano ao material genético (EBONE; CAVERZAN; CHAVARRIA, 2019).

No tomate, o mecanismo de envelhecimento da semente envolve uma rede de vários fatores e sinais redox como a peroxidação lipídica, hidrólise de açúcar e consequente aumento de produtos das reações de Amadori, oxidação proteica, perda de propriedades funcionais e degradação de DNA (ARIF; AFZAL; BÖRNER, 2022; NIGAM et al., 2019). No entanto, o tipo e a velocidade das reações dependem das características genéticas da semente, do teor de água da semente, a umidade relativa do ar, temperatura e disponibilidade de oxigênio, fatores estes que afetam o armazenamento da semente (ZHANG et al., 2021; GROOT et al., 2015).

2.5.1 Fatores que afetam o armazenamento da semente

A constituição genética da semente é um fator determinante na manutenção da qualidade da semente durante o armazenamento. Devido a sua capacidade de tolerar a dessecação que confere os mecanismos de proteção e reparo, as sementes ortodoxas podem se manter viáveis por mais tempo em relação as recalcitrantes. No entanto, mesmo sendo ortodoxas, sementes de diferentes gêneros, espécies, cultivares ou plantas individuais podem apresentar diferenças em sua capacidade de armazenamento (CHAU et al., 2019; DESHEVA, 2016).

Por exemplo, cereais como o milho, aveia, cevada e trigo têm vida longa enquanto que vegetais como alface, cebola e pimenta e algumas gramíneas são de vida mais curta (DESHEVA, 2016). Muitas vezes o tempo de armazenamento foi relacionado com as reservas de matéria seca ou carboidratos solúveis das sementes. Sementes nas quais o óleo foi o principal componente de armazenamento tiveram vida mais curta enquanto carboidratos ou proteínas não mostraram efeito no tempo de armazenamento (NAGEL; BÖRNER, 2010 e autores citados).

Solberg et al. (2020) classificaram o tomate como espécie de vida longa ou variável. Estes autores relaram que após 20 anos de armazenamento a -4°C em sacos selados sementes de tomate mantiveram a viabilidade em torno de 90% mas, em condições ambientais as sementes ainda eram viáveis, mas com baixa porcentagem de germinação. Um segundo fator determinante na manutenção da viabilidade da semente durante o armazenamento é o teor de água da semente.

De modo geral, sementes de hortaliças mantém a viabilidade se mantidas entre 5 a 7% de teor de água da semente (HAY; REZAEI; BUITINK, 2022). Abaixo de 5% foi relatado nenhum ou efeito negativo sobre a germinação (MIRA; ESTRELLES; GONZALEZ-BENITO, 2015) e acima de 8% aumenta a respiração (TRIPATHI; LAWANDE. 2014), de 18 a 20% aumenta a atividade microbiana e deterioração e a 30% sementes não dormentes germinam (HAY; REZAEI; BUITINK, 2022).

Teor de água baixo, entre 2 a 6% dependendo da espécie, é reconhecido por manter o estado vítreo da semente, no qual o citoplasma dos sistemas biológicos apresenta baixa mobilidade molecular e alta estabilidade que suprime o metabolismo enzimático (ZHANG et al., 2021; HONG et al., 2005; ELLIS et al., 1996). A conservação do teor de água depende da umidade relativa do ar à uma determinada temperatura, outros dois fatores que afetam o armazenamento da semente.

Por serem higroscópicas, as sementes trocam de vapor de água com o ambiente até atingirem o equilíbrio e a tendência da água de se mover do ambiente para os tecidos da semente é explicada por isotermas de sorção (WHITEHOUSE; HAY; LUSTY, 2020). Isotermas de sorção são a relação entre o teor de água da semente e a umidade relativa ou atividade de água, quando o sistema está em equilíbrio em determinada temperatura específica (HAY; REZAEI; BUITINK, 2022).

Muitas sementes apresentam uma isoterma do tipo sigmoidal, dividida em três regiões: região I, a maior parte da água está fortemente ligada a grupos hidrofílicos, carregados e polares; na região II, as moléculas de água tornam-se predominantemente ligadas a sítios hidrofílicos e atuam como solvente para algumas reações; e na região III, além da água de

ligação forte e fraca, cada vez mais água é multimolecular ou água associada a outras moléculas de água (WALTERS et al., 2002; WALTERS; WHEELER; GROTENHUIS, 2005).

Numa isoterma de sorção o teor de água da semente aumenta com o aumento da umidade relativa e baixa com o aumento da temperatura, no entanto, a umidade relativa tem maior influência (FANG et al., 1998). A transição primária representada em um diagrama de estado é a temperatura de transição vítrea. Em temperaturas ou teores de água abaixo da curva de transição vítrea, os materiais estariam num estado vítreo onde a mobilidade molecular é restrita e, portanto, as reações de envelhecimento seriam retardadas (BALLESTEROS; WALTERS, 2019).

Todavia, sob condições ambientais (20 °C e 50% UR), a matriz vítrea da semente está próxima de sua temperatura de transição vítrea. Isso significa que qualquer flutuação do ambiente que resulte em um aumento na umidade relativa do ar ou na temperatura fará com que o tecido fique acima da sua temperatura transição vítrea e a mobilidade é gradualmente restaurada (BUTINK; LEPRINCE, 2008).

Não obstante, embora a formação do vidro celular restrinja drasticamente a mobilidade citoplasmática, as moléculas não estão completamente sem mobilidade e, com o tempo, a difusão pode ser possível, embora a uma taxa consideravelmente bem mais lenta que no citoplasma hidratado, o que explica as reações que causam o envelhecimento (BUTINK; LEPRINCE, 2008).

O aumento da temperatura causa aumento na taxa de reações químicas na semente, iniciando assim os primeiros estágios de deterioração (ZHANG et al., 2021 e autores citados). O ar mais quente fornece mais vapor de água disponível para a semente quando comparado ao ar mais frio, mesmo quando a umidade relativa é mantida constante (COPELAND; MCDONALD, 2012 citado por ZHANG et al., 2021).

No tomate, temperaturas abaixo de zero, são reconhecidas por prolongar a vida útil de sementes (DESHEVA, 2016; WALTERS; WHEELER; GROTENHUIS, 2005; ROOS; DAVIDSON, 1992), enquanto que o aumento da temperatura reduz a viabilidade das sementes (SOLBERG et al., 2020). E em regimes de flutuações de temperatura a perda de viabilidade é ainda mais rápida, especialmente se associadas a alta umidade relativa do ar (HUNG; HONG; ELLIS, 2001).

Ainda outro fator que afeta o armazenamento da semente é a disponibilidade de oxigênio. O oxigênio molecular é uma fonte para a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (GROOT et al., 2015). A absorção de oxigênio por sementes secas está relacionada à

formação de superóxido ou outras moléculas de ROS e subsequente oxidação de macromoléculas como lipídios, fosfolipídios e ADN (ZHANG et al., 2021).

A concentração interna de oxigênio dentro de uma semente depende da permeabilidade dos tegumentos da semente para gases e da concentração de oxigênio ambiente (HOURSTON et al., 2020; SANO et al., 2016). Na presença de oxigênio, ocorre a respiração aeróbica que é responsável pela quebra de carboidratos, gorduras e proteínas em dióxido de carbono, água e energia. Esta energia liberada durante a respiração aeróbica é usada pelas células para alimentar os processos metabólicos e é então liberada como calor, que acelera a deterioração das sementes (FAO, 2018).

Os espécimes reativos de oxigênio surgem como subprodutos da respiração aeróbica (BAILLY, 2004). Radicais superóxido são gerados devido ao vazamento e elétrons na cadeia de transporte de elétrons que pela ação da SOD mitocondrial são convertidos em H_2O_2 que, reagem com metais de transição gerando radicais hidroxila $OH\cdot$ com alta toxicidade e atividade. Cerca de 2-3% do O_2 usado via mitocôndria é convertido em H_2O_2 e O^{2-} (BAILLY, 2004).

A produção excessiva de espécimes reativas de oxigênio prejudica o sistema antioxidante que levará a desequilíbrios fisiológicos nas sementes resultando na quebra do sistema enzimático, peroxidação lipídica, carboxilação de proteínas, danos genéticos, avaria do sistema de reparação e morte programada de células com consequente disfunção celular, perda de viabilidade e morte da semente (ZHANG et al., 2021).

A combinação de um ambiente seco (umidade relativa abaixo de 40%) e anóxico é reconhecidamente essencial para prolongar a vida de prateleira das sementes. À 40% de umidade relativa a atividade da água é baixa por isso, as enzimas não são ativas ou são pouco ativas conseqüentemente, o consumo de oxigênio pela respiração aeróbica também está ausente ou é muito baixo (GROOT et al., 2015). Isso foi observado num experimento com sementes de couve chinesa e pimenta quando sementes armazenadas em folhas de alumínio em condições controladas: 15 e 5°C a 40 e 30% de umidade relativa, respetivamente e em condições ambientais mantiveram a viabilidade a 99 e 93% após 10 anos de armazenamento (SOH et al., 2014).

Para culminar, outro fator que afeta o armazenamento de sementes é o ataque por patógenos. As bactérias não tem um papel significativo na deterioração das sementes armazenadas pois, requerem água livre ($\geq 90\%$ de umidade relativa) para crescimento e proliferação (FAO, 2018). Já os fungos de armazenamento constituem um sério problema porque estão presentes no ar ou não são removidos durante a colheita e limpeza da semente,

chegam às sementes armazenadas e crescem sob condições limitadas nas quais os fungos de campo não podem sobreviver (FAO, 2018).

No tomateiro, existem muitos fungos de armazenamento de sementes como *Fusarium solani*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium*, *Alternária* spp., *Rhizopus stolonifer* e *Curvularia* spp. e outros, que ocorrem e causam anormalidades nas sementes pois, produzem micotoxinas que destroem as células das sementes causando apodrecimento, necrose e morte de sementes armazenada (CHOHAN et al., 2017 e autores citados; BRASIL, 2009).

As micotoxinas produzidas por fungos de armazenamento podem afetar o metabolismo das sementes ao nível celular afetando a germinação de sementes e vigor de plântulas. Por exemplo, foi relatado que o *Aspergillus niger*, responsável pelo mofo preto, foi transmitido de sementes contaminadas para os cotilédones e primeiras folhas verdadeiras de cebola cultivadas em condições controladas. Nas mudas cultivadas a semente não tratada causou 30% de infecção e originaram raízes mais longas, mas com brotos mais curtos do que as mudas cultivadas a partir de sementes sãs (HAYDEN; MAUDE, 1992).

Ainda, foi relatado que sementes infectadas por fungos de armazenamento em algumas hortaliças incluindo o tomate, causaram menor na germinação, maior número de plântulas anormais e sementes mortas e índice de vigor mais baixos em relação a sementes e mudas originadas de sementes sãs (HAMIM et al., 2014). De fato, os fungos de armazenamento podem causar perdas significativas no rendimento de muitos vegetais (AHMED et al., 2017).

Os fungos de armazenamento são inativos a baixa umidade ($\leq 65\%$ de umidade relativa do ar) e mostram pouca atividade a umidade relativa abaixo de 75%. Contudo, quando o nível de umidade aumenta os esporos germinam e a infestação fúngica dos lotes pode aumentar exponencialmente (FAO, 2018). Portanto, ambientes mais quentes (HAYDEN; MAUDE, 1992) e que acumulam vapor de água podem facilitar o desenvolvimento de fungos (CHOHAN et al., 2017).

2.5.2 Técnicas de conservação de sementes durante o armazenamento

Para o armazenamento a longo prazo de sementes ortodoxas, os padrões internacionais de recomendam secagem da semente a 15% de umidade relativa (~3 a 7% de teor de água na semente, dependendo do teor de óleo da semente), seladas em recipientes à prova de umidade e armazenadas em temperaturas abaixo de zero, preferencialmente a -18°C (FAO, 2014) ou inferior a isso. Já o padrão recomendado para o armazenamento comercial de sementes de hortaliças é o armazenamento hermético em envelopes aluminizados, latas, sacos de papel

multifoliados e baldes plásticos, geralmente a baixa temperatura e baixa umidade relativa (FAO, 2018).

Tais recomendações visam a manutenção da viabilidade (DESHEVA, 2016; SOLBERG et al., 2020; WALTERS; WHEELER; GROTENHUIS, 2005) e do vigor das sementes (ALHAMDAN et al., 2011) por longos períodos, reduzindo a taxa de deterioração das sementes (SANO et al., 2016; ZINSMEISTER; LEPRINCE; BUITINK, 2020). Por exemplo, o armazenamento hermético em folhas é reconhecido por criar uma maior barreira entre as sementes e a atmosfera externa em relação a recipientes mais permeáveis. Entre as vantagens de seu uso estão: o teor de umidade estável, morte de insetos, baixa taxa de respiração devido à baixa disponibilidade de oxigênio (BASU, 2020; FAO, 2018; GROOT et al., 2015; SOH et al., 2014; ELLIS; HONG, 2007).

A secagem de sementes entre 5 a 7% de teor de água resulta em benefícios para sementes de hortaliças. Por exemplo, a dessecação de sementes de cebola até $6 \pm 1\%$ de teor de água da semente, armazenadas a 20-25 °C em recipientes impermeáveis e hermeticamente selados resultou na manutenção da viabilidade acima de 70% durante 360 dias (RAO; SINGH; RAI, 2006) também relatado por (HORNKE et al., 2020).

Por outro lado, a viabilidade da semente pode ser mantida no armazenamento sob baixa temperaturas e umidade relativa controlada. Por exemplo, em sementes de tomate foi relatado perda rápida de viabilidade (armazenamento por 6,4; 5,5 e 2,9 meses dependendo da zona ecológicas) em sementes hermeticamente seladas armazenadas ao ambiente enquanto que, nas mesmas condições de embalagem mas armazenadas a temperatura mais fria e umidade controlada ($17 \pm 1^\circ\text{C}$ e 65% de UR) a viabilidade da semente não foi comprometida durante 29 meses de armazenamento (ARIYARATHNA; WEERASENA; BENERAGAMA, 2020), também reportado por (ALHAMDAN et al., 2011; ALSADON, 2013) para armazenamento em câmara fria em relação ao armazenamento ao ambiente.

Ainda, baixas temperaturas ($\geq 10^\circ\text{C}$) e baixa umidade relativa ($\geq 40\%$) em condições herméticas e anoxias inibem o consumo de oxigênio eliminando ou reduzindo a respiração aeróbica (GROOT et al., 2015) e eliminam o desenvolvimento de fungos de armazenamento (CHOHAN et al., 2017; HAMIM et al., 2014). Além do mais, o tratamento químico tem sido utilizado para eliminar patógenos transmitidos por sementes e aumentar a produção e produtividade de culturas.

Por exemplo, Soomro et al. (2020) relataram que o tratamento químico de sementes de colza (*Brassica napus*) inoculadas com a *Alternaria* sp. causou maior germinação e 83,69% de plântulas saudáveis em relação a sementes não tratadas. Os sistemas radiculares e parte aérea foram

significativamente melhorados em plântulas de sementes tratadas em comparação as não tratadas. De fato, é amplamente reportado na literatura como o tratamento químico de sementes tem sido utilizado com eficácia na redução do potencial do inóculo, na promoção da germinação, emergência e crescimento inicial de plantas em campo (LAMICHHANE et al., 2020).

Além disso, o tratamento químico aplicado em sementes além de menos oneroso é considerado mais sustentável em relação ao aplicado da maneira convencional via solo ou aplicação foliar devido a alguns riscos a estes associado como: deriva e poluição ambiental (BAIG et al., 2012), toxicidade para organismos não alvo, animais e flora (BO LI; ZHANG, 2017; MARTINEZ; MARZIO; SÁENZ, 2015) e principalmente, riscos a saúde humana devido ao uso excessivo e muitas vezes inadequado (HASHIMI; HASHIMI; RYAN, 2020; SHARMA et al., 2015).

Portanto, sementes com baixo teor de água armazenadas em recipientes impermeáveis, a baixas temperaturas e umidade relativa é técnica eficiente que propicia baixa taxa de respiração, de absorção de vapor de água do ambiente e de proliferação de patógenos com efeitos positivos que prolongam a vida útil da semente. No entanto, nem todas as técnicas e metodologias de armazenamento adequadas estão ao alcance de todo agricultor que muitas vezes utilizam garrafas plásticas, vidros ou latas como alternativas para o armazenamento de sementes (FAO, 2018; NASCIMENTO, 2005) por isso, o estudo de técnicas de armazenamento que testam a eficiência e eficácia de tais fontes alternativas são relevantes visando a manutenção da viabilidade da sementes até a semeadura.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em momentos de crise social, como a originada pela pandemia do COVID-19, as incertezas associadas podem causar incrementos nos preços dos insumos (fertilizantes, defensivos e sementes) que, associados a condições de clima desfavorável podem impactar negativamente sobre a produção de culturas como o tomate. Aumentar a eficiência de produção é a chave para fazer face a tais situações e alimentar a população mundial tão crescente. Para tanto, a semente recebe maior atenção pois, esta não pode render além do seu potencial.

Em campo, as características da semente que conferem maior potencial fisiológico são resultado da complexa interação fruto-semente como resposta ao microclima criado em volta das plantas em desenvolvimento. Após a polinização bem sucedida as sementes em desenvolvimento dentro do fruto garantem o pegamento deste e impulsionam o seu

desenvolvimento. O número de frutos fixados, o tamanho e a qualidade do fruto podem ser um indicativo do número, peso e maturidade fisiológica das sementes em desenvolvimento dentro do fruto. Frutos de tamanho maior contém maior número, peso e qualidade potencial de sementes. A coloração vermelha e polpa firme do fruto são indicativos de maior germinação, vigor, tolerância a dessecação e longevidade da semente. Portanto, os fatores que afetam o pegamento e o crescimento do fruto como a posição dos frutos no cacho, a posição do cacho na planta, o arranjo de plantas em campo, a idade do fruto e as condições ambientais vão afetar a qualidade da semente em desenvolvimento no seu interior.

Por outro lado, o potencial fisiológico da semente adquirido em campo só será mantido até o momento da semeadura se esta for conservada adequadamente. Recipientes impermeáveis, temperatura e umidade relativa baixa durante o armazenamento propiciam uma baixa taxa de respiração, de absorção de vapor de água do ambiente e de proliferação de patógenos. Quando tais condições não estão disponíveis podem ser considerados materiais alternativos desde que devidamente testados ou recomendados para o armazenamento de sementes para a cultura em questão.

REFERÊNCIAS

- ABRASEM. Conheça o sistema brasileiro de sementes. **Abrasem**, conteúdo especial, Agroanalysis, p. 40-44, 2016.
- AHMED, B. et al. Occurrence and distribution of vegetables seed-borne mycoflora in punjab pakistan. **Pakistan Journal of Phytopathology**, v. 29, n. 2, p. 265–271, 2017.
- ALHAMDAN, A. M. et al. Influence of storage conditions on seed quality and longevity of four vegetable crops. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.**, v. 11, n. 3, p. 353–359, 2011.
- ALSADON, A. et al. Effects of pruning systems on growth, fruit yield and quality traits of three greenhouse-grown bell pepper (“*Capsicum annuum*” L.) cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p. 1309–1316, 2013.
- ALSAMIR, M. et al. An overview of heat stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, p. 1654–1663, 2021.
- AN, J. et al. Review: Auxin and ethylene regulation of fruit set. **Plant Science**, v. 292, p. 110381, 2020.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUTI. Tomate. Entre altos e baixos. **Editora Gazeta**, p. 56, 57, 2020.
- ANWAR, R.; MATTOO, A. K.; HANDA, A. K. Ripening and senescence of fleshy fruits. In: Paliyath, G. et al. (eds.). **Postharvest Biology and Nanotechnology**. First Edit ed. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 2019. p. 15–51.
- APRI, M. et al. Modelling cell division and endoreduplication in tomato fruit pericarp. **Journal of Theoretical Biology**, v. 349, p. 32–43, 2014.
- ARIF, M. A. R.; AFZAL, I.; BÖRNER, A. Genetic aspects and molecular causes of seed longevity in plants—A review. **Plants**, v. 11, n. 598, 2022.
- ARIYARATHNA, R. A. I. S.; WEERASENA, S. L.; BENERAGAMA, C. K. Deleterious effects of storage environmental conditions on the seed quality of two varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) stored in triple laminated aluminum packing in Sri Lanka. **International Journal of Applied Sciences and Biotechnology**, v. 8, n. 4, p. 437–447, 2020.
- AZZI, L. et al. Fruit growth-related genes in tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 4, p. 1075–1086, 2015.
- BAIG, S. A. et al. Imidacloprid residues in vegetables, soil and water in the southern Punjab, Pakistan. **Journal of Agricultural Technology**, v. 8, n. 3, p. 903–916, 2012.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v. 14, p. 93–17, 2004.
- BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; FISCHER, G.; MAGNITSKIY, S. Seed-fruit relationships in fleshy fruits: Role of hormones. A review relaciones. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 14, n. 1, 2020.

BALLESTEROS, D.; WALTERS, C. Solid-state biology and seed longevity: a mechanical analysis of glasses in pea and soybean embryonic axes. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 920, 2019.

BASU, R. N. Seed viability. In: BASRA, A. S. (Ed.). . **Seed quality. Basic Mechanisms and Agricultural Implications**. 1st Editio ed. New York: CRC Press, 2020. p. 1–44.

BERGOUGNOUX, V. The history of tomato: From domestication to biopharming. Research review paper. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 170–189, 2014.

BERRY, T.; BEWLEY, J. D. Seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) which develop in a fully hydrated environment in the fruit switch from a developmental to a germinative mode without a requirement for desiccation. **Planta**, v. 186, n. 1, p. 27–34, 1991.

BERTIN, N. Analysis of the tomato fruit growth response to temperature and plant fruit load in relation to cell division, cell expansion and dna endoreduplication. **Annals of Botany**, v. 95, p. 439–447, 2005.

BERTIN, N. et al. A model describing cell polyploidization in tissues of growing fruit as related to cessation of cell proliferation. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 7, p. 1903–1913, 2007.

BERTIN, N. et al. Identification of growth processes involved in QTLs for tomato fruit size and composition. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 1, p. 237–248, 2009.

BERTIN, N. et al. Influence of cultivar, fruit position and seed content on tomato fruit weight during a crop cycle under low and high competition for assimilates. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 73, n. 4, p. 541–548, 1998

BERTIN, N.; GAUTIER, H.; ROCHE, C. Number of cells in tomato fruit depending on fruit position and source-sink balance during plant development. **Plant Growth Regulation**, v. 36, p. 105–112, 2002.

BERTIN, N.; GÉNARD, M. Tomato quality as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 264–276, 2018.

BEWLEY, J. D. et al. **Seeds physiology of development, germination and dormancy**. 3rd ed. Sp ed. New York: Springer, 2013

BIZOUERNE, E. et al. Gene co-expression analysis of tomato seed maturation reveals tissue-specific regulatory networks and hubs associated with the acquisition of desiccation tolerance and seed vigour. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 124, p. 23, 2021.

BO LI, Y. M.; ZHANG, Y. H. Oxidative stress and hepatotoxicity in the frog, *Rana chensinensis*, when exposed to low doses of trichlorfon. **Journal of environmental science and health, Part B**, v. 52, n. 7, p. 476–482, 2017.

BORGES, S. R. DOS S. et al. Tomato seed image analysis during the maturation. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 022–031, 2019.

BOTEON, M.; DELEO, J. P. B.; MOREIRA, M. M. Tomaticultura em números. **Hortifruti Brasil/Cepea**, v. edição esp, p. 12–18, 2020.

BRASIL. Carta de Brasília. Plano nacional de sementes (PLANASEM). Brasília, 1968.

BRASIL. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento., 2009.

BRUMOS, J. Gene regulation in climacteric fruit ripening. **Plant Archives**, v. 63, n. 102042, 2021

BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state. **C. R. Biologies**, v. 331, p. 788–795, 2008.

BUSH, D. R. Identifying the pathways that control resource allocation in higher plants. **PNAS**, v. 117, n. 16, p. 8669–8671, 2020.

CHAU, M. M. et al. Seed freeze sensitivity and ex situ longevity of 295 species in the native Hawaiian flora. **American Journal of Botany**, v. 106, n. 9, p. 1248–1270, 2019.

CHAUDHARY, J. et al. Mutation breeding in tomato: advances, applicability and challenges. **Plants**, v. 8, n. 128, p. 17, 2019.

CHOHAN, S. et al. Management of seed borne fungal diseases of tomato: a review. **Pakistan Journal of Phytopathology**, v. 29, n. 01, p. 193–200, 2017

COLOMBIÉ, S. et al. Respiration climacteric in tomato fruits elucidated by constraint-based modelling. **New Phytologist**, v. 213, p. 1726–1739, 2017.

DANNEHL, D. et al. Vergleich unterschiedlicher gewächshaussysteme und deren auswirkungen auf die qualität von tomaten. **Gesunde Pflanzen**, v. 66, n. 3, p. 111–119, 2014.

DESHEVA, G. The longevity of crop seeds stored under long-term condition in the national gene bank of bulgaria. **Agriculture (Pol'nohospodárstvo)**, v. 62, n. 3, p. 90–100, 2016.

DIAS, D. C. F. S. et al. Tomato seed quality in relation to fruit maturation and post-harvest storage. **Seed Sci. & Technol.**, v. 34, p. 691–699, 2006.

DIRK, L. M. A.; DOWNIE, A. B. An examination of Job's rule: protection and repair of the proteins of the translational apparatus in seeds - Review. **Seed Science Research**, v. 28, p. 168–181, 2018.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34–42, 2019.

ELBADRAWY, E.; SELLO, A. Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 9, n. 2, p. 1010–1018, 2016.

ELLIS, R. . et al. Survival of dry and ultra-dry seeds of carrot, groundnut, lettuce, oilseed rape, and onion during five years' hermetic storage at low temperatures. **Seed Science and Technology (Switzerland)**, v. 24, n. 2, 1996.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D. Seed longevity – moisture content relationships in hermetic and open storage. **Seed Science and Technology**, v. 35, p. 423–431, 2007.

FANG, J. et al. Three-dimensional models represent seed moisture content as a function of relative humidity and temperature. **HORTSCIENCE**, v. 33, n. 7, p. 1207–1209, 1998.

FAO. **Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture**. Revised ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

FAO. **Seeds toolkit - Module 6: Seed storage**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018.

FAOSTAT. **UN Food and Agriculture Organization statistics [Online]** Available online at <http://www.fao.org/faostat>, , 2021.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567–591, 2016.

GE, Z.; CHEUNG, A. Y.; QU, L.-J. Pollen tube integrity regulation in flowering plants: insights from molecular assemblies on the pollen tube surface. **New Phytologist**, v. 222, p. 687–693, 2019.

GIORDANO, L. DE B. et al. Seleção de linhagens com tolerância ao calor em germoplasma de tomateiro coletado na região Norte do Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 105–107, 2005.

GROOT, S. P. C. et al. Prolonging the longevity of ex situ conserved seeds by storage under anoxia. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, v. 13, n. 1, p. 18–26, 2015.

GUTTERMAN, Y. Maternal effects on seeds during development. In: FENNER, M. (Ed.). . **Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities**. 2nd. ed. [s.l.] CAB International, 2000. p. 59–84.

HAMIM, I. et al. Effect of seed borne pathogens on germination of some vegetable seeds. **Journal of Phytopathology and Pest Management**, v. 1, n. 1, p. 34–51, 2014.

HASHIMI, M. H.; HASHIMI, R.; RYAN, Q. Toxic effects of pesticides on humans, plants, animals, pollinators and beneficial organisms. **Asian Plant Research Journal**, v. 5, n. 4, p. 37–47, 2020.

HAY, F. R.; REZAEI, S.; BUITINK, J. Seed moisture isotherms, sorption models, and longevity. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 891913, 2022.

HAYDEN, N. J.; MAUDE, R. B. The role of seed-borne *Aspergillus niger* in transmission of black mould of onion. **Plant Pathology**, v. 41, p. 573–581, 1992.

HONG, T. D. et al. Survival and vigour of ultra-dry seeds after ten years of hermetic storage. **Seed Sci. & Technol.**, v. 33, p. 449–4460, 2005.

HORNKE, N. F. et al. Physiological potential of onion seeds stored in different packings and environments. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 312–318, 2020.

HOURSTON, J. E. et al. The effects of high oxygen partial pressure on vegetable *Allium* seeds

with a short shelf-life. **Planta**, v. 251, n. 105, 2020.

IBGE SETEMBRO. Indicadores IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola estatística da produção agrícola. **IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Cadastro**, p. 95p, 2020.

KANG, M. et al. Correlation between dynamic tomato fruit-set and source – sink ratio: a common relationship for different plant densities and seasons? **Annals of Botany**, v. 107, p. 805–815, 2011

KHAN, N. et al. Exploring the natural variation for seedling traits and their link with seed dimensions in tomato. **PLOS ONE**, v. 7, n. 8, p. e43991, 2012.

KNAPP, S.; PERALTA, I. E. The Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and its botanical relatives. In: GIOVANNONI, M.; BOUZAYEN, J.; ZOUINE, M. (Eds.). **The Tomato Genome. Compendium of Plant Genomes**. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. p. 7–21.

KORTSE, P. A.; OLADIRAN, J. A.; MSAAKPA, T. S. Effects of season and fruit size on the quality of ‘egusi’ melon *Citrullus lanatus* (Thunb) [Matsum and Nakai] SEED. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 7, n. 2, p. 110–116, 2012.

KRISHNAPRABU, S. Impact of growth regulation through spacing and pruning on yield and quality of tomato hybrids. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 2040–2044, 2020

KUMAR, R.; KHURANA, A.; SHARMA, A. K. Role of plant hormones and their interplay in development and ripening of fleshy fruits. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 16, p. 4561–4575, 2014.

LAMICHHANE, J. R. et al. Revisiting sustainability of fungicide seed treatments for field crops. **Plant Disease**, v. 104, n. 3, p. 610–623, 2020.

LIU, L. et al. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. **Molecular Plant**, v. 8, p. 28–39, 2015.

MARTINEZ, R. S.; MARZIO, W. D. DI; SÁENZ, M. E. Genotoxic effects of commercial formulations of Chlorpyrifos and Tebuconazole on green algae. **Ecotoxicology**, v. 24, p. 45–54, 2015.

MATHIEU-RIVET, E. et al. Functional analysis of the anaphase promoting complex activator CCS52A highlights the crucial role of endo-reduplication for fruit growth in tomato. **The plant journal**, v. 62, p. 727–741, 2010.

MELO, P. C. T. Produção de sementes de tomate. In: NASCIMENTO, W. M. (Ed.). **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 342.

MELO, PCT. **Agroindústria de tomate no Brasil: 100 anos de história e evolução**. 7º congresso brasileiro de tomate industrial. Feira de produtos e negócios. Novembro, 2017.

MIRA, S. E.; ESTRELLES, E.; GONZALEZ-BENITO, M. E. Effect of water content and temperature on seed longevity of seven Brassicaceae species after 5 years of storage. **Plant Biology**, v. 17, p. 153–162, 2015.

NAGEL, M.; BÖRNER, A. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. **Seed Science Research**, v. 20, p. 1–12, 2010.

NASCIMENTO, W. M. Produção de sementes de hortaliças para a agricultura familiar. **Circular Técnica 35, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, n. 35, p. 16, 2005.

NAVITHA, P.; SUJATHA, K.; BEAULAH, A. Effect of fruit size on physiological seed quality parameters of Cucumber (*Cucumis sativus*). **Journal of Applied and Natural Science**, v. 11, n. 2, p. 394–397, 2019.

NIGAM, M. et al. Accelerated ageing induces physiological and biochemical changes in tomato seeds involving MAPK pathways. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 20–28, 2019.

NITSCH, L. et al. ABA-deficiency results in reduced plant and fruit size in tomato. **Journal of Plant Physiology**, v. 169, p. 878–883, 2012.

OSORIO, S.; RUAN, Y.-L.; FERNIE, A. R. An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 516, 2014.

PANTHEE, D. R.; KRESSIN, J. P.; PIOTROWSKI, A. Heritability of flower number and fruit set under heat stress in tomato. **HORTSCIENCE**, v. 53, n. 9, p. 1294–1299, 2018

PIRRELLO, J. et al. How fruit developmental biology makes use of flow cytometry approaches. **Cytometry Part A**, v. 85A, p. 115–125, 2014.

PRUDENT, M. et al. Resource competition modulates the seed number–fruit size relationship in a genotype-dependent manner: A modeling approach in grape and tomato. **Ecological Modelling**, v. 290, p. 54–64, 2014.

RAO, R. G. S.; SINGH, P. M.; RAI, M. Storability of onion seeds and effects of packaging and storage conditions on viability and vigour. **Scientia Horticulturae**, v. 110, p. 1–6, 2006.

RIBEIRO, R. R. M. et al. **A aplicabilidade do custeio variável na cultura do tomate em uma pequena propriedade familiar**. XXVI Congresso Brasileiro de Custos. **Anais...Curitiba, PR, Brasil: Anais Do Congresso Brasileiro De Custos - ABC**, 2019Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4619>>

ROOS, E. E.; DAVIDSON, D. A. Record longevity of vegetable seeds in storage. **HORTSCIENCE**, v. 27, n. 5, p. 393–396, 1992.

RUAN, Y.-L. et al. Molecular regulation of seed and fruit set. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 11, p. 1360–1385, 2012.

SAAVEDRA, T. M.; FIGUEROA, G. A.; CAUIH, J. G. D. Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in México. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, p. 1–7, 2017.

SALIM, M. M. R. et al. Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, p. 233–240, 2020.

SANO, N. et al. Staying alive: Molecular aspects of seed longevity. **Plant & Cell Physiology**, v. 57, n. 4, p. 660–674, 2016.

SBIRCIOG, G. Correlation between the fruit position on the plant and seeds quality indices of green peppers (*Capsicum annuum* L.). **Bulletin UASVM Horticulture**, v. 72, n. 2, 2015.

SHARMA, K. K. et al. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521 – 539, 2015.

SHARMA, S. K. et al. Influence of fruit positions and fruit retention loads on seed quality parameters of okra. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 885–888, 2018.

SHINOZAKI, Y. et al. High-resolution spatiotemporal transcriptome mapping of tomato fruit development and ripening. **Nature communications**, v. 9, n. 364, 2018.

SILVA, A. C. T. F.; LEITE, I. C.; BRAZ, L. T. Avaliação da viabilidade do pólen como possível indicativo de tolerância a altas temperaturas em genótipos de tomateiro. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 12, n. 2, p. 156–165, 2000.

SINGKAEW, J. et al. Season, fruit maturity, and storage affect on the physiological quality of F1 hybrid ‘VTM580’ tomato seeds and seedlings. **The Japanese Society for Horticultural Science (JSHS)**, v. 86, n. 1, p. 121–131, 2017.

SMOLIKOVA, G. et al. Desiccation tolerance as the basis of long-term Seed viability. **International Journal of molecular sciences**, v. 22, n. 1, p. 101, 2021.

SOCOLOSKI, A. et al. Análise econômica da produção olerícola: um estudo com agricultores familiares. **Custos e @gronegocio on line**, v. 13, n. Edição especial, p. 389–407, 2017.

SOH, E. et al. Change of germination rate for chili pepper and chinese cabbage seed in relation to packaging materials and storage conditions over 10 years. **Korean Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 32, n. 6, p. 864–871, 2014.

SOLBERG, S. Ø. et al. Long-term storage and longevity of orthodox seeds: A systematic review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 1007, 2020.

SOOMRO, T. A. et al. Effect of *Alternaria* sp on seed germination in rapeseed, and its control with seed treatment. **Journal of Cereals and Oilseeds**, v. 11, n. 1, p. 1–6, 2020,

SRIVASTAVA, A.; HANDA, A. K. Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 24, p. 67–82, 2005.

SRIVASTAVA, M. Fruit development and ripening. In: **Plant growth and development**. [s.l.] Elsevier, 2002. p. 413–429.

SU, L. et al. The Aux/IAA, Sl-IAA17 regulates quality parameters over tomato fruit development. **Plant Signaling & Behavior**, v. 10, n. 11, 2015.

TEGEDER, M. Transporters involved in source to sink partitioning of amino acids and ureides: opportunities for crop improvement. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 7, p. 1865–1878, 2014.

TRIPATHI, P. C.; LAWANDE, K. E. Effect of seed moisture and packing material on viability and vigour of onion seed. **Journal of Engineering Computers & Applied Sciences(JECAS)**,

v. 3, n. 7, 2014.

WALTERS, C. et al. Desiccation stress and damage. In: BLACK, M., AND PRITCHARD, H. W. W. (Ed.). **Desiccation and Survival in Plants: Drying Without Dying**. [s.l.] Ilingford: CAB International., 2002.

WALTERS, C.; WHEELER, L. M.; GROTENHUIS, J. M. Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. **Seed Science Research**, v. 15, n. 1, p. 1–20, 2005.

WHITE, A. C. et al. How can we make plants grow faster? A source–sink perspective on growth rate. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 31–45, 2016.

XIAO, H. et al. Integration of tomato reproductive developmental landmarks and expression profiles, and the effect of SUN on fruit shape. **BMC Plant Biology**, v. 9, n. 49, 2009.

ZANOR, M. I. et al. RNA interference of LIN5 in tomato confirms its role in controlling brix content, uncovers the influence of sugars on the levels of fruit hormones, and demonstrates the importance of sucrose cleavage for normal fruit development and fertility. **Plant Physiology**, v. 150, p. 1204–1218, 2009.

ZHANG, K. et al. Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 475–485, 2021.

ZHAO, X. et al. Molecular regulation of fruit size in horticultural plants: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 288, n. 110353, 2021.

ZINSMEISTER, J.; LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Molecular and environmental factors regulating seed longevity. **Biochemical journal**, v. 477, n. 2, p. 305–323, 2020.

CAPÍTULO 2 EFEITO DO ESPAÇAMENTO ENTRE PLANTAS E DA POSIÇÃO DO CACHO NA PLANTA SOBRE A QUALIDADE DE SEMENTES DE TOMATE

RESUMO

Fatores que influenciam o estabelecimento e o crescimento dos frutos durante o cultivo em campo podem afetar a qualidade da semente de tomate. Na presente pesquisa o objetivo foi avaliar o efeito da posição dos cachos na planta e do espaçamento entre linhas de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) cv Santa clara sobre a qualidade da semente. Para tanto, foi conduzido um experimento primeiro em condições de campo depois em laboratório. O experimento em campo foi montado no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial com parcela subdividida no tempo (5x3x7). As fontes de variação foram espaçamento (20; 40; 60; 80, 100 cm entre plantas por 1m entre linhas); posição dos cachos na planta (P1, P2 e P3: dois cachos em cada posição: inferior, intermédia e superior da planta, respectivamente) e o tempo de colheita em dias após transplante DAT (93, 100, 107, 114, 121, 128 e 135) e em dias após antese DAA. As variáveis medidas foram número, peso e rendimento total dos frutos. As sementes extraídas foram avaliadas quanto a qualidade pelos testes de germinação e vigor dado pela emergência, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e índice de velocidade de emergência. As análises dos resultados de foram realizadas usando glmmTMB e emmeans na versão R 3.3.1. Os resultados indicaram que sementes originadas de frutos nas posições inferior e intermédia da planta (P1 e P2, respectivamente), em plantas com espaçamento de 80 e 100cm entre linhas tiveram maior germinação e vigor. Em campo, o tempo de colheita, a posição do cacho na planta e o espaçamento entre plantas influenciaram o tamanho, número, peso e maturidade dos frutos. A maior qualidade de sementes foi obtida de frutos maiores, mais pesados e com maior tempo de maturação.

Palavras chave: *Solanum lycopersicum*. Relação Fruto-semente. Densidade de Plantio, Tamanho do fruto. Tempo de Colheita. Maturação fisiológica.

ABSTRACT

Factors that influence fruit establishment and growth during field cultivation can affect tomato seed quality. The aims in this research were to evaluate the effect of the clusters position on the mother plant and the spacing between rows in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) Santa Clara variety on seed quality. For this purpose, an experiment was conducted first in field conditions and then in the laboratory. In the field experiment, the fruit harvest time was taken into account and this was set up in a randomized block experimental design in a factorial scheme with a plot in time subdivided (5x3x7). The sources of variation were spacing (20; 40; 60; 80, 100 cm between plants by 1m between rows); clusters position on the plant (P1, P2 and P3: two clusters in each position: lower, middle and upper of the plant, respectively) and harvest time in days after transplant DAT (93, 100, 107, 114, 121, 128 and 135) and in days after anthesis DAA. The measured variables were number, weight and total fruit yield. Afterwards, the seeds of the fruits were extracted and their quality was evaluated in the laboratory by tests of germination and vigor given by emergence, first germination count, germination speed index and emergence speed index. The experimental design was completely randomized in a 5x3 factorial scheme with sources of variation: spacing (20; 40; 60; 80, 100 cm between plants by 1 m between rows) and clusters position on the plant (P1, P2 and P3). Analyzes of the results of were performed using glmmTMB and emmeans in version R 3.3.1. Seeds originating from fruits in the lower and intermediate positions of the plant (P1 and P2, respectively), in plants with spacing of 80 and 100cm between rows, had greater germination and vigor. In the field, harvesting time, cluster position on the plant and spacing between plants influenced size, number, fruit weight and fruit maturation when higher seed quality was obtained from larger, heavy-weighted and more mature fruits.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Fruit-seed relation. Plant Density. Fruit Size. Harvest time. Physiological maturity.

1 INTRODUÇÃO

A maior qualidade de sementes é associada a emergência rápida e crescimento uniforme de plântulas e esta pode variar entre e dentro de populações e entre e dentro de indivíduos dependendo do genótipo ou das condições locais em que as sementes amadurecem. O microambiente criado pela posição dos frutos na planta, pelo arranjo de plantas durante o cultivo, pela temperatura, distribuição das chuvas e/ou outros fatores bióticos e abióticos durante o tempo em que as sementes amadurecem podem afetar significativamente a qualidade da semente em muitas espécies (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; GUTTERMAN, 2000).

Vários relatórios mostram como a posição da inflorescência, do cacho na planta ou do fruto no cacho pode afetar o tamanho, o peso e a qualidade da semente. Em cenoura, por exemplo, a germinação e vigor mais altas foram reportadas para sementes de umbelas primárias, seguida de umbelas secundárias e mais baixas para umbelas terciárias (PANAYOTOV, 2010; NOOR et al., 2020). Frutos e cachos em posições mais inferiores na planta tiveram sementes com maior desempenho em relação as sementes de frutos em posições mais superiores na planta em pimentão (SBIRCIOG, 2015) e tomate (DIAS et al., 2006). Já em pimenta, a germinação e o vigor de sementes decresceram de frutos em camadas inferiores da planta para frutos em camadas superiores da planta (ALAN; ESER, 2007). No entanto, os resultados podem diferir entre cultivares (PANAYOTOV, 2009) ou entre espécies (GEORGIEVA, 2021; ALAN; ESER, 2007).

Além disso, é amplamente documentado na literatura quanto a influência do arranjo de plantas em campo sobre a qualidade da semente, porém os resultados nem sempre são consistentes. Em cenoura, por exemplo, o rendimento por planta, o peso, a porcentagem de germinação e o vigor de sementes foram maiores em plantas com espaçamentos mais amplos em relação a sementes de plantas com espaçamentos mais ajustados (YADAV et al., 2021, NOOR et al., 2020) mas, em nabo forrageiro foi relatado maior qualidade física, fisiológica e sanitária da semente para plantas com espaçamentos e densidades menores (OLIVEIRA et al., 2011).

Isto sugere que a escolha do espaçamento mais adequado e a separação da semente em lotes com a mesma qualidade entre e dentro de indivíduos é de suma importância para obtenção de lotes com maior qualidade da semente. No entanto, em frutos carnosos a semente é colhida enquanto ainda dentro do fruto havendo a necessidade de entender quais características de frutos que conferem maior qualidade da semente. No tomate, alguns pesquisadores encontraram que o maior rendimento, germinação e vigor bem como a presença, número e distribuição

(PRUDENT et al., 2014; SALIM et al., 2020), peso (KHAN et al., 2012) e maturidade (BIZOURNE et al., 2021; BORGES et al., 2019) da semente, características associadas a maior rendimento e qualidade da semente, estão associadas a fatores que afetam a formação, pegamento, crescimento e maturação do fruto ainda em desenvolvimento no campo.

A formação e o pegamento do fruto dependem da polinização bem sucedida e fertilização do óvulo, em frutos verdadeiros. Portanto, fatores que afetam a polinização como a inviabilidade do pólen causado por seca, estresse por frio ou calor podem influenciar negativamente a formação de sementes e frutos (PANTHEE; KRESSIN; PIOTROWSKI, 2018; RUAN et al., 2012; SATO et al., 2006) afetando o rendimento e qualidade da semente.

Por outro lado, estudos mostram que durante a fase de crescimento do fruto, um período muito ativo de divisão e expansão celular, hormônios sintetizados nas sementes regulam o desenvolvimento da semente e aumentam a atividade e a força dos frutos como órgãos drenos. Nisso, frutos com maior número de sementes, sementes completamente formadas, com maior peso fresco e seco criam uma grande força drenos induzindo o crescimento do pericarpo resultando em frutos com maior diâmetro equatorial e tamanho em relação a frutos com poucas sementes (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020 e autores citados). Portanto, o tamanho do fruto pode ser um indicativo de maior rendimento e qualidade da semente (PRUDENT et al., 2014).

Daí, quando o fruto atinge o tamanho máximo adquire a capacidade de amadurecer mesmo após desprendido da planta mãe diz-se que o fruto atingiu a maturidade fisiológica e inicia a fase de maturação (ANWAR; MATOO; HANDA, 2019). Nesta, o fruto sofre alterações fisiológicas e bioquímicas que incluem mudanças de cor, sabor, aroma e perda de firmeza devido a um aumento da taxa respiratória do fruto e produção de etileno. Tais mudanças são um indicativo de maturidade das sementes e de que o lóculo ao redor das sementes está liquefeito (BRUMOS, 2021; SRIVASTAVA, 2002). Em tomate, a mudança de cor de verde para vermelho a partir dos 40 dias após antese (DAA) tem sido associado a melhor qualidade da semente (BIZOURNE et al., 2021; BORGES et al., 2019).

Portanto, uma vez que o tamanho, a cor e a idade do fruto se relacionam a qualidade da semente entender como o microclima criado em volta do fruto em desenvolvimento no campo afeta estes parâmetros torna-se necessário para otimizar os tratos culturais que levam a melhoria da qualidade da semente. Em vista disso, na presente pesquisa foram avaliados os efeitos da posição e espaçamento sobre a germinação e vigor de sementes de tomate e sua influência sobre a produção de frutos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo no Setor de Olericultura e de laboratório no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras em Lavras, MG- Brasil.

No experimento em campo foram instalados dois experimentos de maio a outubro de 2018 e 2019, respectivamente. Mudanças de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivar Santa Clara, com hábito de crescimento indeterminado, foram comercialmente adquiridas e transplantadas para o campo definitivo. A determinação da adubação de plantio e de cobertura foi realizada com base na análise do solo, seguindo recomendação técnica para a cultura de tomate tutorado (FILGUEIRA, 2008).

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento e a necessidade de irrigação foi determinada de acordo com a evapotranspiração diária da cultura (ET_c) calculada pelo método FAO Penman-Monteith (FAO 56 PM; Allen et al 1998). O controle de pragas e doenças foi realizado de acordo com as recomendações convencionais para a cultura, pulverizando com fungicidas, acaricidas e inseticidas em sistema preventivo. O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente mantendo o campo sempre limpo.

As desbrotas foram realizadas quando os brotos apresentavam 3 a 5 cm de comprimento e após a formação do 6º racemo foi realizada uma poda apical mantendo um total de seis cachos por planta. As mudas transplantadas foram conduzidas com 1 planta por cova, uma haste por planta e tutoradas no sistema de V invertido a diferentes densidades (20, 40, 60, 80 e 100cm entre plantas por 100 cm entre linhas).

Os cachos foram marcados quando 25% das flores estavam em antese. A colheita foi realizada quando os frutos apresentavam a cor vermelha e em três posições na planta P1, P2 e P3 correspondendo a dois cachos contados a partir da base, respectivamente. No ano de 2019 foram igualmente, analisados cachos individuais.

Os tomates colhidos foram identificados, pesados e separados em três grupos. Tomates com menos de 100g de peso foram considerados pequenos, com o peso entre 100 a 120g médios e acima de 120g grandes. As sementes destes foram extraídas, reservadas em sacos plásticos fechados por 24h, lavadas e secas ao ambiente de sala depois reservadas em potes plásticos selados e acondicionadas em câmara fria (10°C e umidade relativa de 50%) até análise em laboratório, segundo a metodologia para extração e secagem de sementes de tomate recomendada por MELO (2014).

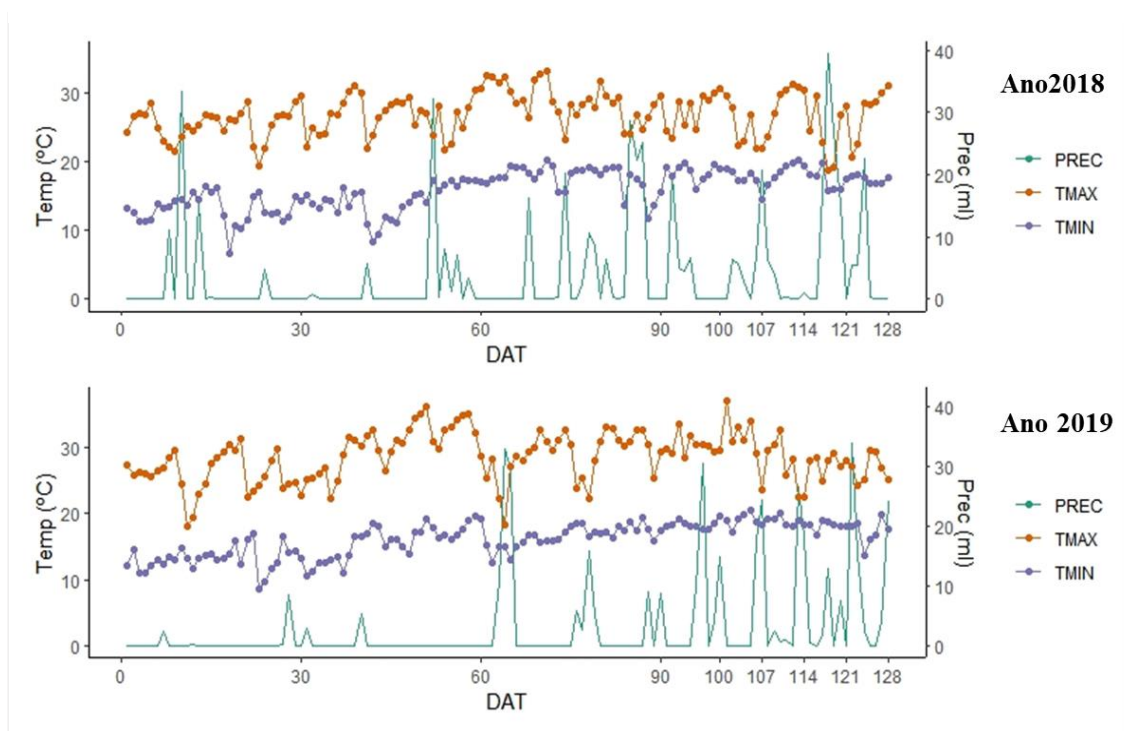
Em laboratório, foram realizadas os seguintes testes e determinações para análise da qualidade da semente: germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG), realizados utilizando-se 4 repetições de 50 sementes de cada tratamento. As sementes foram semeadas sobre duas folhas de papel toalha umedecidas com água destilada, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco, em caixas do tipo “gerbox”, conforme as regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). Para o cálculo da germinação considerou-se a contagem de plântulas normais aos 14 dias e para a PCG aos 7 dias, e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Emergência de plântulas (E) e índice de velocidade de emergência (IVE) utilizou-se de quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento, e estas foram colocadas para germinar em bandejas plásticas com substrato uma mistura de areia e solo na proporção de 1:1. Após semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento sob regime alternado de luz e escuro (12h), a 25°C por 14 dias. Diariamente, foram computadas o número de plântulas emergidas até a estabilização (IVE). Foi computado a emergência de plântulas normais aos 14 dias (E). os resultados foram dados em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

No campo, o delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial com parcela subdividida no tempo, com quatro repetições. As fontes de variação analisadas foram espaçamento (20, 40, 60, 80 e 100cm entre plantas, por 100cm entre linhas); posição dos cachos na planta (P1, P2 e P3) em 2018 e, (P1, P2, P3 P4, P5 e P6) em 2019. e o tempo de colheita (90, 100, 107, 114, 121, 128 e 135 dias após transplante - DAT). As variáveis medidas foram o número, peso e rendimento de frutos e peso total de sementes. No laboratório, o delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5x3x6 com fontes de variação espaçamento e posição dos cachos na planta.

O clima da região é classificado, segundo a classificação proposta por Köppen, como sendo do tipo *Cwa*, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação total média anual de 1530mm e temperatura anual de 19,4°C (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007; INMET, 1992), dados meteorológicos durante o tempo de cultivo são apresentados na FIGURA 1 e resumo na TABELA 1.

Figura 1 - Temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) e precipitação (PREC) durante período de cultivo.



Fonte: Adaptado de UFLA (2022)

Tabela 1: Resumo dos dados meteorológicos durante o tempo de cultivo nos anos 2018 e 2019.

Ano 2018						
Índice	Temperatura °C			PREC (mm)	UR%	INSOL
	TMÁX	TMIN	TMED			
Min.	19.40	6.70	14.60	0.000	43.50	0.000
1ºQu.	24.82	12.20	17.91	0.000	59.80	4.025
Mediana	26.60	14.25	19.00	0.000	67.15	7.700
Média	26.54	14.45	19.52	2.208	68.55	6.701
3ºQu.	28.38	16.60	21.18	0.000	77.45	9.500
Máx.	33.20	20.30	25.30	45.000	93.50	11.500
Ano 2019						
Min.	18.00	4.90	10.80	0.000	35.50	0.000
1ºQu.	24.60	11.88	17.62	0.000	56.58	7.000
Mediana	27.20	14.15	19.50	0.000	63.80	8.900
Média	27.24	14.18	19.75	1.144	63.61	7.954
3ºQu.	30.15	16.68	22.40	0.000	71.45	9.800
Máx.	36.20	19.60	26.40	29.900	94.00	11.300

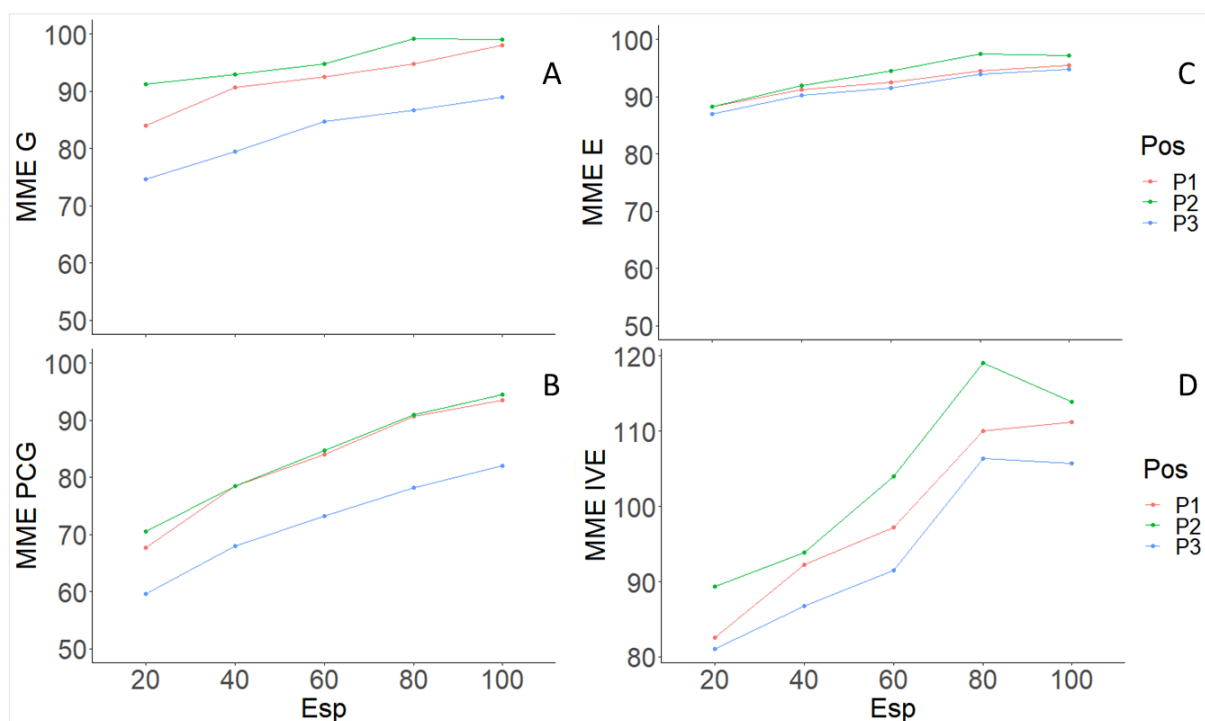
Legenda: TMAX, TMIN e TMED (temperatura máxima, mínima e média, respectivamente), PREC (precipitação), UR (umidade relativa do ar) e INSOL (insolação).

A análise estatística foi realizada utilizando o modelo misto glmmTMB (BROOKS et al, 2017) e emmeans (RUSSEL, 2019) na versão R 3.3.1 (R Core Team, R Foundation for Statistical Computin, Viena, Áustria 2019). Foi utilizado a transformação logarítmica no ajuste da variável IVE em $\log(\text{IVE}+0.001)$. As pressuposições de normalidade e homogeneidade da variância foram consideradas. De início foi ajustado um modelo completo e depois um reduzido baseado na estatística de máxima verossimilhança, onde foi considerado como modelo bem ajustado aquele com o menor critério de informação de Akaike (AIC) ou Bayesiano (BIC). O pacote estatístico utilizado foi o lme4 do R (R Studio, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade das sementes foi influenciada pelo espaçamento entre plantas e pela posição do cacho na planta. A germinação e o vigor aumentaram com o aumento do espaçamento entre linhas de plantas e foram maiores para cachos na posição intermédia (P2), seguida de posição inferior (P1) e depois a superior (P3) ($p < 0,0001$) (FIGURA 2).

Figura 2 - Estimativas das médias marginais (MME) da germinação G (A), primeira contagem de germinação PCG (B), emergência E (C) e índice de velocidade de emergência IVE (D) de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) colhidos de frutos no vermelho firme em função do espaçamento entre plantas e posição do cacho na planta.



Fonte: Da autora (2022)

Sementes originadas de plantas com espaçamentos de 80 e 100 cm entre linhas tiveram maior germinação, em até 14,4 pontos percentuais, em relação a sementes originadas de plantas com espaçamentos menores considerando cachos na mesma posição na planta e em até 24,7 pontos percentuais quando considerado cachos em posições diferentes na planta ($p < 0,0001$; FIGURA 2A). Isto está de acordo com o reportado por Yadav et al. (2021) e Noor et al. (2020) em cenoura que relataram que plantas com maior espaçamento propiciaram maior rendimento, peso, germinação e vigor de sementes em relação a espaçamentos mais ajustados.

Os cachos na posição superior (P3) com plantas espaçadas à 20 e 40cm entre linhas não atingiram o requisito mínimo de germinação para comercialização de sementes de tomate que, no Brasil é de 80%. Enquanto que, sementes de cachos nas posições intermédia (P2) e inferior (P1) da planta tiveram a germinação acima de 90 e 80%, respectivamente, mesmo para plantas em espaçamentos menores (FIGURA 2A). No tomate, Dias et al. (2006a) relataram maior germinação do 3° ao 5° cacho e menor germinação de sementes no 6° cacho em frutos colhidos totalmente vermelhos e firmes em tomate. Resultados similares também foram relatados em outras culturas como pimenta (PANAYOTOV, 2009; ALAN; ESER, 2007), cenoura (PANAYOTOV, 2010) e pimentão (SBIRCIOG, 2015) quando sementes de camadas, umbelas e frutos, respectivamente, nas posições mais inferiores na planta tiveram maior germinação em relação às mais superiores.

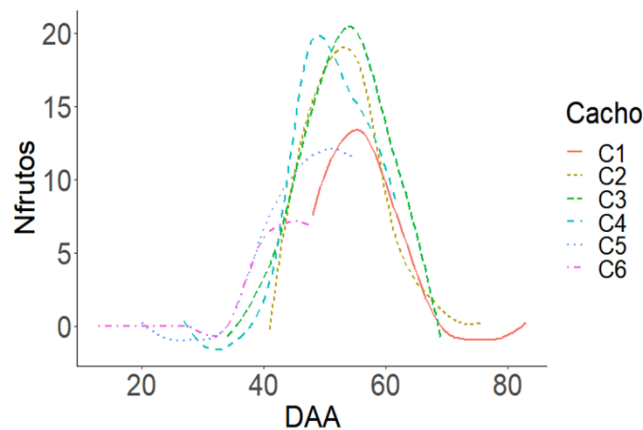
O vigor dado pela primeira contagem de germinação (PCG) foi maior para as sementes de frutos de cachos nas posições inferior P1 e intermédia P2 da planta em todos os espaçamentos quando comparados à sementes na posição superior P3 ($P < 0,0001$; FIGURA 2B). Enquanto que a emergência (E) de plântulas foi maior para P2, espaçamentos entre plantas de 80 e 100cm em relação aos demais cachos ($p < 0,0001$; FIGURA 2C). O índice de velocidade de emergência foi maior para sementes de cachos na P2 em relação a P3 em todos os espaçamentos ($p < 0,0001$) sem diferença com P1 ($p = 0$; FIGURA 2D).

Dias et al. (2006a) atribuíram as diferenças na germinação e vigor de sementes de tomate com a mesma coloração vermelho-firme a diferenças na posição dos frutos e a idade dos frutos. A germinação aumentou do segundo ao sexto cacho sendo que o primeiro cacho teve uma germinação até 67% maior comparando os extremos associado a cachos tardios (com mais de 70 dias após antese) com o pericarpo completamente vermelho. Sharma et al. (2018) observaram que sementes de quiabo originadas de frutos dos primeiros três entrenós na planta tiveram maior germinação e vigor e atribuíram o resultado ao fato de os frutos na posição mais baixa permanecerem por mais tempo na planta e, por isso, absorverem mais nutrientes e minerais que diminuem em direção ao topo da planta resultando em menor peso da semente, redução do vigor e viabilidade das sementes de frutos na posição superior.

Portanto, os frutos nas posições mais baixas se desenvolvem por mais tempo (DIAS et al., 2006b; BORGES et al., 2019; SINGKAEW et al., 2017), absorvem mais nutrientes (SHARMA et al., 2018) e têm maior habilidade de competir por assimilados e acumular maior matéria seca (BERTIN et al., 1998) resultando em frutos de tamanho maior, com maior número e peso de sementes. De fato, conforme observado na presente pesquisa, avaliando de cachos individuais do segundo ano os frutos nas posições inferior (cachos 1 e 2) e intermédia (cachos

3 e 4) permaneceram mais tempo na planta, pois foram colhidos com mais de 50 dias após antese, enquanto que frutos na posição superior (cachos 5 e 6) foram colhidos com 50 dias após antese ou menos (FIGURA 3).

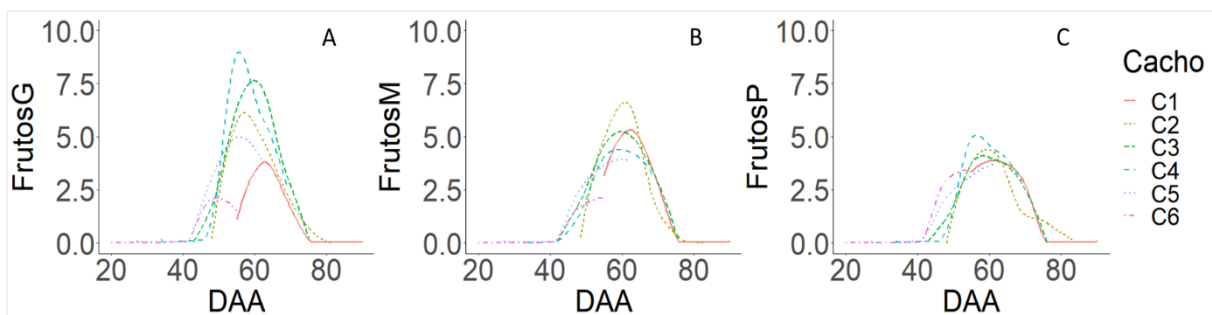
Figura 3 – Número de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) colhidos no vermelho firme em cachos diferentes ao longo do tempo, dias após antese (DAA).



Fonte: Da autora (2022)

Foi observado também que os cachos nas posições intermédia e inferior da planta continham maior número de frutos de tamanho grande e médios (FIGURA A e B) o que indica que tiveram maior tempo para acúmulo de matéria seca em relação aos cachos na posição superior cujo maior número de frutos foi de tamanho pequeno (FIGURA 4C).

Figura 4 – Número de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) classificados em tamanho grande (Frutos G) médio (Frutos M) e pequeno (Frutos P) colhidos no vermelho firme em cachos diferentes ao longo do tempo, dias após antese (DAA).



Fonte: Da autora (2022)

Prudent et al. (2014) associaram o maior peso e tamanho do fruto ao maior número de sementes enquanto que KHAN et al. (2012) e RUAN et al. (2012) a maior tamanho e peso de sementes e conseqüente maior germinação e vigor das sementes o que explica a maior qualidade de sementes para os frutos nas posições inferior e intermédia da planta. Na Figura 5 são mostrados os frutos colhidos no vermelho firme de cachos na posição superior da planta. Estes eram pequenos, com um número escasso de sementes ou com sementes muito pequenas (resultados não mostrados) e havia sintomas de escaldão em alguns frutos.

Figura 5 – Frutos colhidos de cachos na posição superior (P3) aos 121 dias após transplante (DAT) espaçamento entre linhas de 80 cm, ano 2018.



Fonte: Da autora (2022)

No tomate, o número e tamanho de frutos tem estreita relação com os caracteres da semente como a presença, número, tamanho e distribuição dentro do fruto e estes estão diretamente correlacionados a taxa de polinização e fertilização efetiva (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020). A polinização é um dos fatores mais decisivos que determinam a formação de sementes e estas garantem o pegamento e regulam o desenvolvimento do fruto (SRIVASTAVA; HANDA, 2005). Após a dupla fertilização, quando uma das células espermáticas funde com o óvulo formando o zigoto e a outra se une aos núcleos polares dando origem ao endosperma (constituindo a semente), o ovário se desenvolve e se diferencia em fruto e ambos, semente e fruto, sofrem um desenvolvimento simultâneo regulados por hormônios (GE; CHEUNG; QU, 2019; BEWLEY et al., 2013).

A atividade hormonal da semente em formação leva a um aumento local na concentração de hormônios cuja atividade sincronizada controla a diferenciação do ovário em

fruto impulsionando o desenvolvimento do fruto (AN et al., 2020; KUMAR; KHURANA; SHARMA, 2014; SRIVASTAVA, 2002) e os frutos crescem devido ao aumento do tamanho das células promovido por hormônios sintetizados pelas sementes em desenvolvimento. Portanto, a formação adequada de sementes produz uma grande quantidade de hormônios que levam ao desenvolvimento normal do fruto com crescimento celular ideal que, por sua vez, determina o tamanho final do fruto (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020; BERTIN, 2005; BERTIN; GAUTIER; ROCHE, 2002; MU et al., 2017).

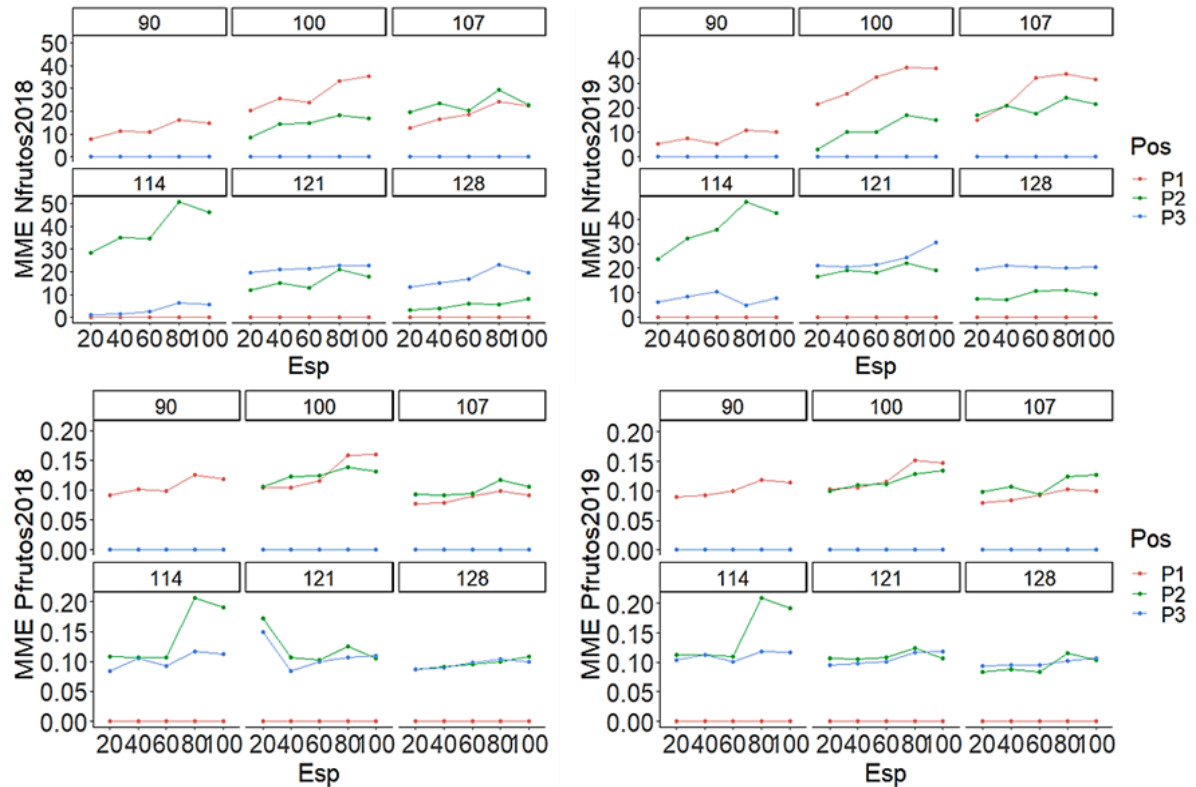
A polinização é afetada, principalmente por fatores ambientais como temperatura, luz e umidade relativa do ar (AN, 2020) sendo a temperatura o principal fator limitante (RAJA et al., 2019). Para variedades sensíveis de tomate, temperaturas dia/noite acima de 26/20 °C podem afetar significativamente o grão do pólen levando a má germinação prejudicando o desenvolvimento do tubo polínico o que, reduz a floração, o número de frutos, o peso dos frutos e o número de sementes por fruto que diminuem significativamente (BALAGUERA-LÓPEZ; FISCHER; MAGNITSKIY, 2020; GIORDANO et al., 2005; PEET; SATO; GARDNER, 1998; RAJA et al., 2019; SILVA; LEITE; BRAZ, 2000).

A variedade de tomate, Santa Clara, utilizada na presente pesquisa é sensível ao calor (GIORDANO et al., 2005; SILVA; LEITE; BRAZ, 2000). Assim sendo, na presente pesquisa, temperaturas mais amenas no primeiro quartil (ver Tabela 1) devem ter causado maior taxa de pegamento e desenvolvimento de frutos e sementes nas posições inferior e intermédia (P1 e P2, respectivamente) enquanto que, temperaturas mais elevadas no 3º quartil causaram menor taxa de frutos fixados (SILVA; LEITE; BRAZ, 2000), maior número de abortos florais ou menor número de células no fruto (BERTIN, 2005) que, associado a menor oferta de nutrientes devido a posição na planta (SHARMA et al., 2018) resultou em frutos menores com o menor número de sementes na posição superior (FIGURA 5).

Além disso, o estresse por calor em variedades sensíveis pode ocasionar a cor vermelha no fruto como resultado de um acúmulo de altas quantidades de compostos antioxidantes lipossolúveis, como licopeno e β -caroteno como forma de proteger os fotossistemas e as células dos frutos sob estresse oxidativo (LIU et al. 2015), o que pode justificar a aquisição mais rápida da cor vermelha em frutos precoces. Para mais, a diferença entre a temperatura do dia e da noite superior a 10 °C causa redução na produtividade e tamanho dos frutos de variedades sensíveis de tomate (LI et al., 2015). Na presente pesquisa, a diferença média de temperatura dia/noite foi de 12,2 °C em 2018 e 12,7 °C em 2019 (ver TABELA 1; FIGURA1) isto pode ter afetado a produção de frutos em especial em tempos mais quentes a partir do 3º quartil. Os resultados do

número e do peso dos frutos nos diferentes tempos de colheita e o efeito do espaçamento e da posição do cacho na planta são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Estimativa das médias marginais (MME) do número e peso dos frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) em função da posição dos cachos na planta (P1, P2 e P3), espaçamentos entre linhas de plantas (Esp.) ao longo do tempo dias após transplante (DAT).



Fonte: Da autora (2022)

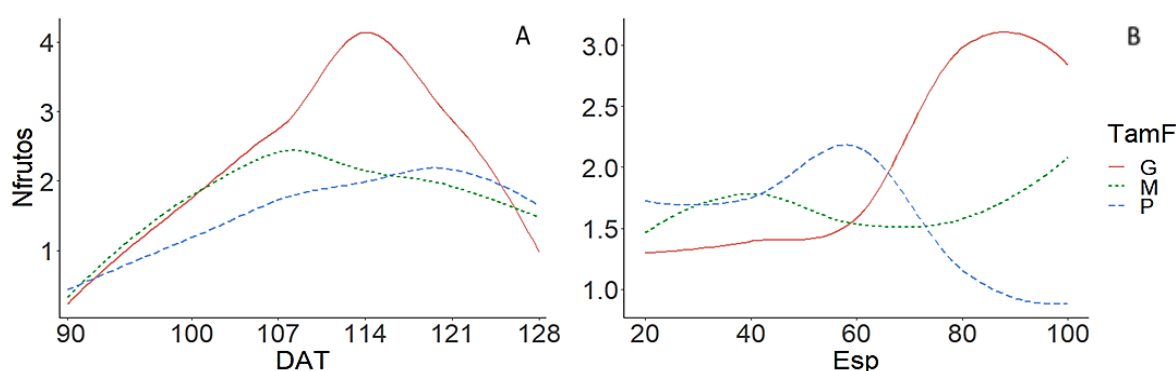
Para cada posição o número e o peso dos frutos colhidos no vermelho firme aumentaram até um pico e depois diminuíram. O maior número e peso dos frutos foram obtidos na posição intermédia e aos 114 dias após transplante, seguido da posição inferior aos 110 dias após transplante e depois na posição superior aos 121 dias após transplante ($p < 0,0001$) e nos espaçamentos mais amplos (80 e 100 cm) para todas as posições quando comparados aos espaçamentos mais ajustados 20 e 40 cm ($p < 0,0001$) (FIGURA 6).

Em cada posição e em cada cacho os frutos colhidos nas últimas colheitas eram de tamanho menor, a semelhança dos frutos na posição superior. Isto pode ser explicado pelas diferenças no tempo de antese ao longo do cacho e na capacidade de competição por nutrientes. Xiao et al. (2009) observaram que, no tomate, a abertura das flores ocorre em intervalos de um dia dentro da inflorescência. Então, para inflorescências com mais de 10 frutos, como na presente pesquisa, os últimos frutos se desenvolveram num ambiente mais quente e sob maior

competição por assimilados que, são monopolizados pelos primeiros frutos (BERTIN et al., 1998; COYAGO-CRUZ et al., 2017) o que justifica seu tamanho menor e menor número de sementes.

De certo, baseado na radiação ativa fotossintética e eficiência de uso de luz, há uma redução no pegamento de frutos e consequente número e diâmetro dos frutos do 1º ao 6º cacho (BERRUETA et al., 2020) e diminuição da probabilidade de frutificação com a idade da planta (KANG et al., 2011) o que explica a variação no tamanho dos frutos ao longo do tempo de cultivo em campo (FIGURA 7A) e pela competição imposta pela posição do fruto na planta e pela variação na densidade de plantas (FIGURA 7B).

Figura 7 – Número de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) classificados em tamanho grande (G) médio (M) e pequeno (P) colhidos no vermelho firme ao longo do tempo, dias após transplante (DAT) e do espaçamento entre linhas de plantas (Esp).



Fonte: Da autora (2022)

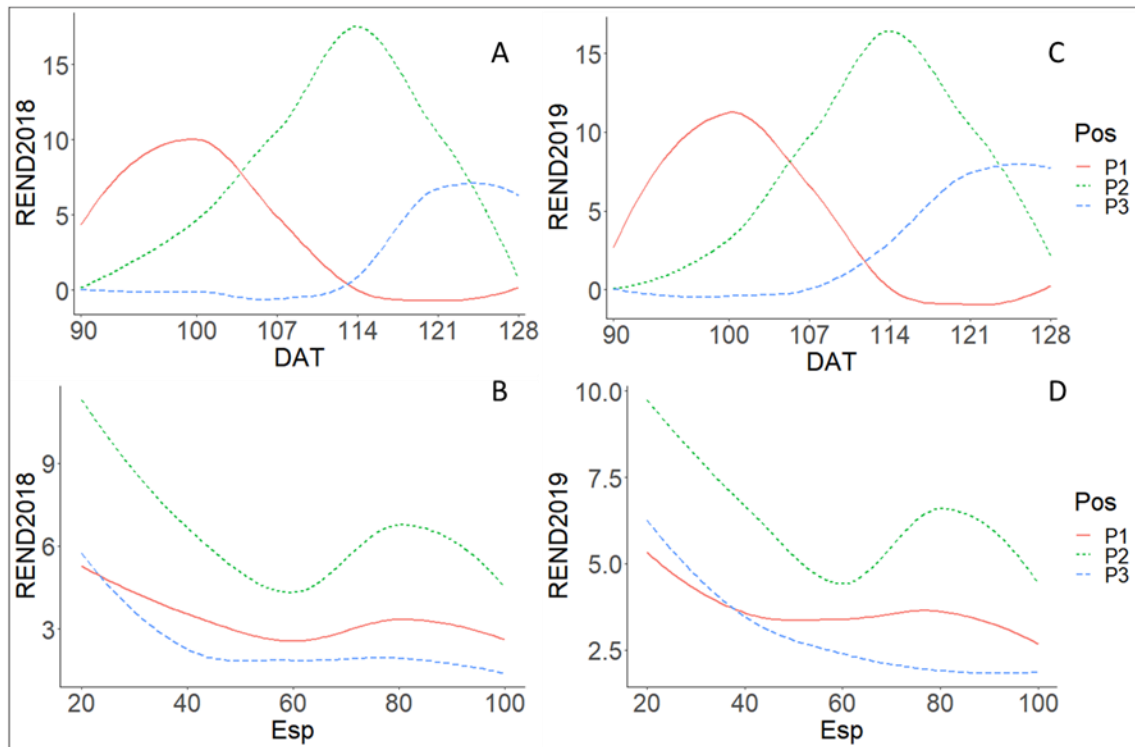
Ainda, na Figura 8A pode-se observar que o maior número de frutos colhidos no vermelho firme foi de tamanho maior e o número de frutos menores aumentou ao longo do tempo de colheita e foi maior na posição superior da planta. Frutos maiores foram obtidos também de espaçamentos mais amplos, os menores de espaçamentos mais ajustados e os frutos médios se distribuíram mais proporcionalmente em todos os espaçamentos ($p=0$). Isto sugere que os frutos colhidos no vermelho firme, na sua maioria tem as características que conferem maior qualidade da semente como tamanho, peso e cor, este último relacionado à maturação da semente. No entanto, com o tempo, o número de frutos colhidos com tamanho maior diminui o que pode afetar a qualidade da semente em desenvolvimento no seu interior.

A densidade das plantas também influencia no tamanho do fruto com consequência sobre a qualidade final da semente. Kang et al. (2011) observaram que o peso seco total do fruto por planta e o peso médio do fruto individual dos primeiros três frutos nos cachos 1 e 2 na

colheita final diminuiu com a densidade da planta e em altas densidades o crescimento rápido de órgãos vegetativos foi promovido retardando o crescimento dos frutos enquanto que em densidades mais baixas a demanda foi aumentada, correspondendo a uma expansão de frutos individuais foi mais rápida. O sombreamento mútuo (KRISHNAPRABU, 2020) associado a condições ambientais, agronômicas e de variedade (DANNEHL et al., 2014) levam, tal qualmente a diminuição do peso dos frutos com o aumento da densidade.

O rendimento final de frutos também foi influenciado pelo espaçamento e posição dos cachos na planta, ao longo do tempo (FIGURA 8).

Figura 8 - Rendimento (Ton/ha/posição) de tomate (*Solanum lycopersicum*) colhidos no vermelho firme ao longo do tempo dias após transplante (DAT; A e B) e em diferentes espaçamentos entre linhas de plantas (Esp; C e D) em função da posição dos cachos na planta (inferior P1, intermédia P2 e superior P3) em dois anos de cultivo.



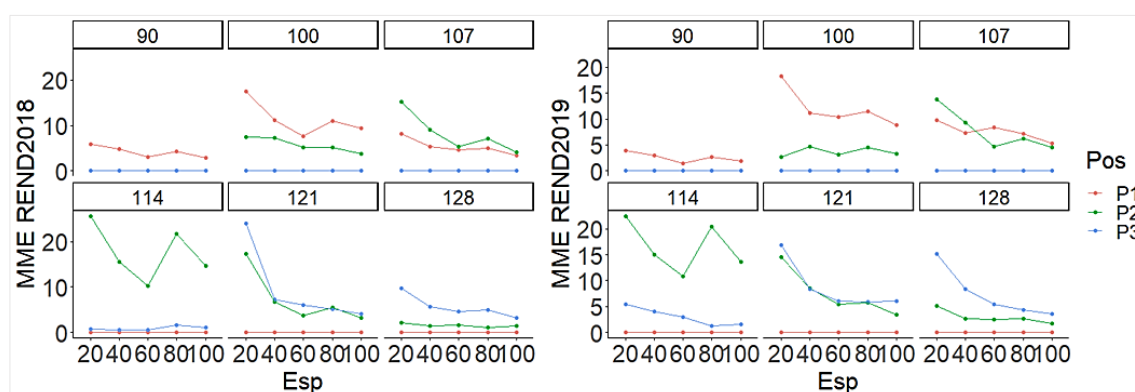
Fonte: Da autora (2022)

Nos espaçamentos maiores o rendimento de frutos foi maior em cachos nas posições intermédia P2 seguida de inferior P1 e depois superior P3 nos dois anos de cultivo ($p < 0,001$; FIGURA 8A, C). No entanto, o rendimento espaçamentos mais ajustados favoreceram o rendimento final devido ao maior número de plantas por unidade de área ($p < 0,001$; FIGURA 8B, D), resultado de acordo com a literatura (AMARE; GEBREMEDHIN, 2020; ANSARI et

al., 2017; ASSEFA; TESFAYE; DESSALEGN, 2015; MABOKO; PHILLIPUS; PLOOY, 2013).

Da interação posição x espaçamento ao longo do tempo de colheita pode-se observar que nas primeiras colheitas e as últimas de cada posição o rendimento foi menor quando comparados as colheitas intermédias de cada posição (FIGURA 9). Isto deveu-se ao menor número de frutos maduros, no vermelho - firme nas primeiras colheitas e ao menor peso e tamanho de frutos nas últimas colheitas de cada posição. Ainda, o maior número de frutos foi colhido dos 100 aos 121 dias após transplante ($p < 0,001$; FIGURA 9), devido aos maior número e peso de frutos colhidos.

Figura 9 - Estimativa das médias marginais (MME) do rendimento (REND) (t/ha/posição) de tomate (*Solanum lycopersicum*) em função da posição dos cachos na planta (P1, P2 e P3), espaçamentos entre linhas (Esp) ao longo do tempo, dias após transplante (DAT).



Fonte: Da autora (2022)

Assim, frutos no vermelho-firme foram colhidos a partir dos 100 dias após transplante iniciando na posição inferior da planta em direção ao topo. O número, o peso e o rendimento dos frutos foram maiores na posição intermédia da planta, seguida da inferior, associado a espaçamentos mais amplos e menor na posição superior da planta e nos espaçamentos mais ajustados. A frutificação e o desenvolvimento dos frutos foram promovidos nas posições intermédia e inferior associados a espaçamentos 80 e 100 cm o que favoreceu a produção de sementes de maior qualidade. Assim sendo, embora o rendimento total de frutos e sementes tenha sido menor para os espaçamentos mais amplos estes são recomendados para fins de produção de sementes (YADAV et al., 2021, NOOR et al., 2020).

4 CONCLUSÃO

A qualidade da semente foi influenciada pela posição dos frutos na planta e pelo arranjo de plantas durante o cultivo no campo. A máxima qualidade de sementes foi obtida de frutos nas posições intermédia e inferior da planta associado a espaçamentos entre linhas mais amplos (80 e 100 cm). Em campo, os frutos nestas condições foram colhidos em maior número, peso e rendimento indicando maior taxa de frutificação e desenvolvimento dos frutos. Os frutos na posição superior da planta e em espaçamentos mais ajustados (20 e 40 cm) foram menores e continham menor número de sementes por fruto. Portanto, para fins de produção de sementes de tomate, a posição do fruto na planta, o arranjo de plantas associado a características do fruto como tamanho e cor devem receber maior atenção na otimização de características para produção e qualidade de sementes de tomate. Frutos colhidos no vermelho-firme, com mais de 50 dias após antese e de tamanho maior são indicativos da presença e de maior qualidade da semente.

REFERÊNCIAS

- ALAN, O.; ESER, B. Pepper seed yield and quality in relation to fruit position on the mother plant. **Pakistan journal of biological sciences**, v. 10, n. 23, p. 4251–4255, 2007.
- AMARE, G.; GEBREMEDHIN, H. Effect of plant spacing on yield and yield components of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Shewarobit, Central Ethiopia. **Scientifica**, v. 2020, 2020.
- ANSARI, G. et al. Effect of planting geometry and training on growth and seed yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of Applied and Natural Science**, v. 9, n. 2, p. 1146–1150, 2017.
- ANWAR, R.; MATTOO, A. K.; HANDA, A. K. Ripening and senescence of fleshy fruits. In: PALIYATH, G. et al. (Eds.). **Postharvest Biology and Nanotechnology**. First ed. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 2019. p. 15–51.
- APRI, M. et al. Modelling cell division and endoreduplication in tomato fruit pericarp. **Journal of Theoretical Biology**, v. 349, p. 32–43, 2014.
- ASSEFA, W.; TESFAYE, B.; DESSALEGN, L. Influence of inter and intra-rows spacing on yield and yield components of tomato cultivars. **Ethiopian Journal of Agricultural Sciences**, v. 25, n. 1, p. 71–81, 2015.
- AZZI, L. et al. Fruit growth-related genes in tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 4, p. 1075–1086, 2015.
- BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; FISCHER, G.; MAGNITSKIY, S. Seed-fruit relationships in fleshy fruits: Role of hormones. A review relaciones. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 14, n. 1, 2020.
- BERRUETA, C. et al. Estimation of tomato yield gaps for greenhouse in Uruguay. **Scientia Horticulturae**, v. 265, n. September 2018, p. 109250, 2020.
- BERTIN, N. et al. Influence of cultivar, fruit position and seed content on tomato fruit weight during a crop cycle under low and high competition for assimilates. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 73, n. 4, p. 541–548, 1998.
- BERTIN, N. Analysis of the tomato fruit growth response to temperature and plant fruit load in relation to cell division, cell expansion and DNA endoreduplication. **Annals of Botany**, v. 95, p. 439–447, 2005.
- BERTIN, N.; GAUTIER, H.; ROCHE, C. Number of cells in tomato fruit depending on fruit position and source-sink balance during plant development. **Plant Growth Regulation**, v. 36, p. 105–112, 2002.
- BERTIN, N.; GÉNARD, M. Tomato quality as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 264–276, 2018.
- BIZOUERNE, E. et al. Gene co-expression analysis of tomato seed maturation reveals tissue-specific regulatory networks and hubs associated with the acquisition of desiccation tolerance and seed vigour. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 124, p. 1–23, 2021.
- BORGES, S. R. DOS S. et al. Tomato seed image analysis during the maturation. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 022–031, 2019.

- BRUMOS, J. Gene regulation in climacteric fruit ripening. **Plant Archives**, v. 63, n. 102042, 2021.
- COYAGO-CRUZ, E. et al. Effect of the fruit position on the cluster on fruit quality, carotenoids, phenolics and sugars in cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). **Food Research International**, v. 100, n. August, p. 804–813, 2017.
- DANNEHL, D. et al. Vergleich unterschiedlicher gewächshaussysteme und deren auswirkungen auf die qualität von tomaten. **Gesunde Pflanzen**, v. 66, n. 3, p. 111–119, 2014.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. DE; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, 2007.
- DIAS, D. C. F. S. et al. Tomato seed quality in relation to fruit maturation and post-harvest storage. **Seed Sci. & Technol.**, v. 34, p. 691–699, 2006a.
- DIAS, D. C. F. S. et al. Maturação de sementes de tomate em função da ordem de frutificação na planta. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 446–456, 2006b.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3rd. ed. Viçosa, MG - Brasil: editora UFV, 2008.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567–591, 2016.
- GEORGIEVA, N. Seed heterogeneity in dependence of their position on the mother plant in *Lupinus albus* L. **Banat`s journal of biotechnology**, v. XI, n. 22, p. 76–82, 2020.
- GIORDANO, L. DE B. et al. Seleção de linhagens com tolerância ao calor em germoplasma de tomateiro coletado na região Norte do Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 105–107, 2005.
- GUTTERMAN, Y. Maternal effects on seeds during development. In: FENNER, M. (Ed.). . **Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities**. 2nd. ed. [s.l.] CAB International, 2000. p. 59–84.
- INMET. NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL (1961-1990). **Instituto Nacional de Metereologia - INMET**, n. 1, 1992.
- KANG, M. et al. Correlation between dynamic tomato fruit-set and source – sink ratio: a common relationship for different plant densities and seasons? **Annals of Botany**, v. 107, p. 805–815, 2011.
- KHAN, N. et al. Exploring the natural variation for seedling traits and their link with seed dimensions in tomato. **PLOS ONE**, v. 7, n. 8, p. e43991, 2012.
- KRISHNAPRABU, S. Impact of growth regulation through spacing and pruning on yield and quality of tomato hybrids. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 2040–2044, 2020.
- LI, L. et al. Effects of day and night temperature difference on growth, development, yield and fruit quality of tomatoes. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**, v. 26, n. 9, p. 2700–2706, 2015.
- LIU, L. et al. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. **Molecular Plant**, v. 8, p. 28–39, 2015.
- MABOKO, M. M.; PHILLIPUS, C.; PLOOY, D. High-density planting of tomato cultivar ' s

with early decapitation of growing point increased yield in a closed hydroponic system. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, v. 63, n. 8, p. 676–682, 2013.

MELO, P. C. T. Produção de sementes de tomate. In: NASCIMENTO, W. M. (Ed.). **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 342.

NOOR, A. et al. Plant spacing effects on seed yield and quality of carrot cultivar T-29. **Pure and Applied Biology**, v. 9, n. 4, p. 2563–2570, 2020.

OLIVEIRA, A. DOS S. et al. Seed quality and optimal spatial arrangement of fodder radish. **Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)**, v. 68, n. 4, p. 417–423, 2011.

PANAYOTOV, N. Quality of pepper seed production depending on fruit position on the mother. **Acta Horticulturae**, v. 830, p. 505–510, 2009.

PANAYOTOV, N. Heterogeneity of carrot seeds depending on their position on the mother plant. **Folia Horticulturae Ann.**, v. 22, n. 1, p. 25–30, 2010.

PANTHEE, D. R.; KRESSIN, J. P.; PIOTROWSKI, A. Heritability of flower number and fruit set under heat stress in tomato. **HORTSCIENCE**, v. 53, n. 9, p. 1294–1299, 2018.

PIRRELLO, J. et al. How fruit developmental biology makes use of flow cytometry approaches. **Cytometry Part A**, v. 85A, p. 115–125, 2014.

PRUDENT, M. et al. Resource competition modulates the seed number–fruit size relationship in a genotype-dependent manner: A modeling approach in grape and tomato. **Ecological Modelling**, v. 290, p. 54–64, 2014.

RUAN, Y.-L. et al. Molecular regulation of seed and fruit set. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 11, p. 1360–1385, 2012.

SALIM, M. M. R. et al. Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, p. 233–240, 2020.

SATO, S. et al. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. **Annals of Botany**, v. 97, p. 731–738, 2006.

SBIRCIOG, G. Correlation between the fruit position on the plant and seeds quality indices of green peppers (*Capsicum annuum* L.). **Bulletin UASVM Horticulture**, v. 72, n. 2, 2015.

SHARMA, K. K. et al. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521 – 539, 2015.

SHARMA, S. K. et al. Influence of fruit positions and fruit retention loads on seed quality parameters of okra. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 885–888, 2018.

SILVA, A. C. T. F.; LEITE, I. C.; BRAZ, L. T. Avaliação da viabilidade do pólen como possível indicativo de tolerância a altas temperaturas em genótipos de tomateiro. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 12, n. 2, p. 156–165, 2000.

SINGKAEW, J. et al. season, fruit maturity, and storage affect on the physiological quality of F1 hybrid ‘VTM580’ tomato seeds and seedlings. **The Japanese Society for Horticultural Science (JSHS)**, v. 86, n. 1, p. 121–131, 2017.

SRIVASTAVA, A.; HANDA, A. K. Hormonal regulation of tomato fruit development: a

molecular perspective. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 24, p. 67–82, 2005.

SRIVASTAVA, M. Fruit development and ripening. In: **Plant Growth and Development**. [s.l.] Elsevier, 2002. p. 413–429.

SU, L. et al. The Aux/IAA, SI-IAA17 regulates quality parameters over tomato fruit development. **Plant Signaling & Behavior**, v. 10, n. 11, 2015.

YADAV, M. et al. Effect of plant spacing and steckling size length on seed quality parameters of carrot (*Daucus carota* L.). **The Pharma Innovation Journal 2021**, v. 10, n. 10, p. 719–721, 2021.

ZHAO, X. et al. Molecular regulation of fruit size in horticultural plants: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 288, n. 110353, 2021.

CAPÍTULO 3 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE SEMENTES DE TOMATE

RESUMO

O armazenamento adequado de sementes pode retardar o envelhecimento natural e/ou eventos de deterioração que ocorreriam de maneira rápida no ambiente natural. Adiar reações bioquímicas de deterioração depende de técnicas apropriadas que mantenham baixa taxa de respiração e de absorção de vapor de água do ambiente e um ambiente livre de patógenos. Para tanto, foi objetivo na presente pesquisa avaliar o efeito de três tipos de embalagens, sob dois ambientes de armazenamento de sementes de tomate tratadas e não tratadas, ao longo de 12 meses de armazenamento. Nesse intuito, sementes de tomate cv Santa clara foram adquiridas, homogeneizadas e divididas em dois lotes. Um dos lotes foi tratado quimicamente com fungicida Iprodiona (Rovral® SC), as sementes dos dois lotes foram secadas em até teor de água ($7 \pm 0,8$), embaladas em três tipos de embalagem: papel kraft (permeável), recipiente de plástico com tampa de rosca (semipermeável) e envelope aluminizado (impermeável) e armazenadas em dois ambientes: ambiente de sala (ambiente à 63% de umidade e 24°C de temperatura, em média, durante o período de armazenamento) e câmara fria (10°C e umidade relativa de 50%) por cinco épocas diferentes (0, 3, 6, 9 e 12 meses). As avaliações foram realizadas após cada período avaliando-se o grau de umidade, a germinação, emergência, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e de emergência. O delineamento estatístico foi o inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5x3x2x2 com fontes de variação; época (0, 3, 6, 9 e 12 meses de armazenamento), tipo de embalagem (papel Kraft, papel aluminado e recipiente), tratamento químico (semente tratada e não tratada) e ambiente de armazenamento (ambiente e câmara fria). A análise estatística foi realizada utilizando o modelo misto, pacote estatístico lme4 do R. Os resultados indicaram que a qualidade de sementes de tomate foi afetada pelo ambiente de armazenamento, tipo de embalagem e tratamento da semente. Sementes armazenadas em câmara fria e envelopes de alumínio conservaram a semente por até 12 meses com germinação acima de 80%. O tratamento da semente propiciou o controle de *Alternaria alternata* e *Penicillium* e maior germinação e vigor de sementes no início do armazenamento e a manutenção das sementes em recipientes de plástico ao ambiente por até 12 meses de armazenamento. As sementes em recipientes de plástico e de papel absorveram mais vapor de água do ambiente e a manutenção da qualidade da semente nestes em nível aceitável quando armazenada ao ambiente só foi possível quando a semente foi tratada, recipiente de plástico ou por até 9 meses quando não tratada ou embalada em envelopes de papel.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Armazenabilidade das Sementes. Recipientes. Ambiente. Tempo. Tratamento de Sementes.

ABSTRACT

Proper seed storage can delay natural aging and/or deterioration events that would occur rapidly in the natural environment. Postponing deteriorating biochemical reactions depends on appropriate techniques that maintain a low rate of respiration and absorption of water vapor from the environment and a pathogen-free environment. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of three types of packaging, under two storage environments for treated and untreated tomato seeds, over 12 months of storage. To this end, tomato seeds cv Santa Clara were purchased, homogenized and divided into two lots. One of the lot was chemically treated with Iprodione fungicide (Rovral® SC) and the seeds of both lots were dried to water content (7 ± 0.8), packed in three types of packaging: kraft paper (permeable), plastic with screw cap container (semi-permeable) and aluminized foil (impermeable) and stored in two environments: room environment (63% UR and 24°C temperature, mean in all storage time) and cold chamber (10°C and relative humidity of 50%) for five different times (0, 3, 6, 9 and 12 months). The evaluations were carried out after each period, evaluating the moisture content, germination, emergence, first germination count, germination speed index and emergence. The statistical design was completely randomized, in a 5x3x2x2 factorial scheme with sources of variation; season (0, 3, 6, 9 and 12 months of storage), type of packaging (Kraft paper, aluminum foil and container), chemical treatment (treated and untreated seed) and storage environment (environment and cold chamber). Statistical analysis was performed using the mixed model, statistical package lme4 of R. Tomato seed quality was affected by storage environment, type of packaging and seed treatment. Seeds stored in a cold chamber and aluminum envelopes preserved the seed for up to 12 months with germination above 80%. Seed treatment provided control of *Alternaria alternata* and *Penicillium* and greater germination and vigor of seeds at the beginning of storage and maintenance of seeds in plastic containers in the environment for up to 12 months of storage. Seeds in plastic and paper containers absorbed more water vapor from the environment and the maintenance of seed quality in these at an acceptable level when stored in the environment was only possible when the seed was treated, plastic container or for up to 9 months when not treated or packaged in paper containers.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Seed Storage. Containers. Environment. Storage time. Treatment.

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, a semente é a ferramenta básica mais importante de entrega fácil de pacotes tecnológicos para incremento na produção e produtividade de culturas. Pesquisadores e melhoristas incorporam na semente tecnologias de manejo avançadas para obter maior produtividade, tolerância a condições adversas do clima e do solo, resistência a pragas e doenças, com menor pressão sobre o ambiente (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHENETO, 2021).

No entanto, tais aprimoramentos tecnológicos só serão efetivos se a qualidade da semente for mantida em num nível aceitável até o momento de plantio. Pois, dependendo das condições de crescimento, após maturação completa da semente e consequente abscisão da planta mãe pode ocorrer a perda de qualidade, deterioração da semente, que se intensifica com o decorrer do tempo de armazenamento que iniciando com a perda da germinabilidade pode levar a a morte do embrião (SANO et al., 2016).

Entretanto, notavelmente, após a maturação fisiológica as sementes ortodoxas já dispõem de um mecanismo natural de proteção e reparo que as conferem a capacidade de se manterem viáveis por mais tempo sob um conjunto de condições. Os mecanismos de proteção incluem a formação de um citoplasma vítreo que estabiliza os componenetes celulares restringindo severamente a mobilidade citoplasmática previnindo, assim, a matriz celular contra eventos prejudiciais como as reações de Amadori e Maillard, peroxidação lipídica ou carbonilação de proteínas (DIRK; DOWNIE, 2018; SANO et al., 2016; SMOLIKOVA et al., 2021).

Já, o sistema de reparo remove os danos acumulados no RNA, DNA e proteínas durante a embebição/ reidratação recuperando e mantendo o proteoma funcional (DIRK; DOWNIE, 2018; SANO et al., 2016). Ainda assim, diante de tal proteção a difusão ocorre e gradualmente as células acumulam danos celulares por envelhecimento natural e/ou eventos de deterioração (BUITINK; LEPRINCE, 2008; WALTERS et al., 2005). Apesar disso, o tipo e a velocidade das reações dependem das condições de armazenamento.

Condições de armazenamento que mantém o estado vítreo da semente podem prolongar a vida útil da semente. Os padrões internacionais de recomendam secagem da semente a 15% de umidade relativa (~3 a 7% de teor de água na semente, dependendo do teor de óleo da semente), seladas em recipientes à prova de água e armazenadas em temperaturas abaixo de zero, preferencialmente a -18°C (FAO, 2014) ou inferior a isso. A aplicação destes padrões de armazenamento pode manter a viabilidade de sementes de tomate por mais de 20 anos e a perda

de 50% da viabilidade calculada em 72 anos (DESHEVA, 2016), 130 anos (WALTERS; WHEELER; GROTENHUIS, 2005) ou entre 56 a 230 anos, dependendo da variedade (ROOS; DAVIDSON, 1992).

No entanto, estas técnicas e metodologias adequadas de armazenamento de sementes nem sempre estão disponíveis a comerciantes e/ou todos agricultores que, muitas vezes buscam alternativas mais acessíveis. Em países subdesenvolvidos, por exemplo ou a nível do pequeno agricultor o armazenamento de sementes em câmara fria (5 a 10 °C; umidade relativa controlada 50 a 60%) ou ao ambiente em garrafas plásticas, vidros ou latas é mais comum e até algumas vezes recomendado como alternativa para manutenção da viabilidade da semente (FAO, 2018; NASCIMENTO, 2005).

Entretanto, as técnicas alternativas podem variar em disponibilidade, acesso e cultura o que torna relevantes estudos específicos de possibilidades, mesmo para efeitos de recomendação. Por exemplo, vários autores testaram diferentes tipos de embalagens e os resultados variaram de acordo com a especificidade do material e/ou objetivo da pesquisa. Materiais alternativos quando comparados a embalagens herméticas a prova de água diferiram em termos de tempo de armazenamento (HORNKE et al., 2020), no grau de deterioração (BALDANIYA; KARJULE; PATIL, 2017), nos efeitos sobre a semente na presença ou ausência de oxigênio (GONZÁLEZ-BENITO et al., 2011) ou sob diferentes teor de água inicial da semente (TRIPATHI; LAWANDE, 2014).

Por um lado, os recipientes alternativos podem ser considerados satisfatórios para armazenamento comercial ou a nível do produtor a curto prazo, mas por outro, completamente inadequados para uso em bancos de germoplasma (GÓMEZ-CAMPO, 2006). Não obstante, nesses estudos são encontradas alternativas válidas, soluções práticas e/ou experiência aporte para aprimoramento em pesquisas futuras.

Neste intuito, o objetivo na presente pesquisa foi avaliar o efeito de tipos de embalagens sobre a qualidade de sementes de tomate tratadas ou não, sob diferentes ambientes ao longo do tempo de armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de laboratório, no Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras -MG, Brasil. Sementes de tomate cv Santa clara foram adquiridas, homogeneizadas e divididas em dois lotes. Um dos lotes foi quimicamente tratado fungicida Iprodiona (Rovral® SC), as sementes dos dois lotes foram secadas em estufa de circulação forçada de ar a 35°C por 24 horas quando a umidade atingiu entre $7 \pm 0,8\%$.

Cada um dos lotes foi embalado em três tipos de embalagem: papel *kraft* (permeável), recipiente de plástico (semipermeável) e envelope aluminizado (impermeável), armazenado em dois ambientes: de sala (ambiente à 63% de umidade e 24°C de temperatura, em média, durante o período de armazenamento) e câmara fria (10°C e umidade relativa de 50%) por cinco épocas diferentes (0, 3, 6, 9 e 12 meses). Cada tratamento continha cinco amostras separadas e foi realizada uma avaliação da qualidade fisiológica em cada época retirando-se uma amostra por vez.

O grau de umidade foi determinado pelo método da estufa a 105°C $\pm 3^\circ\text{C}$ por 24h (Brasil, 2009) utilizando-se duas repetições de 1g de sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem. O teste de germinação foi realizado utilizando-se 4 repetições de 50 sementes de cada tratamento, que foram semeadas sobre duas folhas de papel toalha umedecidas com água destilada, na proporção de 2.5 vezes o peso do papel seco, em caixas do tipo “gerbox”, conforme as regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). A contagem de plântulas normais foi realizada após 14 dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

O teste de primeira contagem foi realizado juntamente com o teste de germinação, contabilizando-se a porcentagem de plântulas normais após 7 dias. O índice de velocidade de germinação também foi realizado juntamente com o teste de germinação onde foram realizadas observações diárias das sementes contabilizando-se todas as sementes germinadas (que apresentavam protusão radicular) até atingir a estabilização. Depois, foi feito o cálculo do índice de velocidade de germinação aplicando a fórmula proposta por Maguire (1962).

A emergência de plântulas foi avaliada utilizando quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento semeadas em bandejas plásticas com substrato composto por uma mistura de areia e solo na proporção de 1:1 colocadas em câmara de crescimento sob regime alternado de luz e escuro (12h), a 25°C por 14 dias quando foi realizada a contagem o número de plântulas normais emergidas. Os resultados foram expressos em porcentagem.

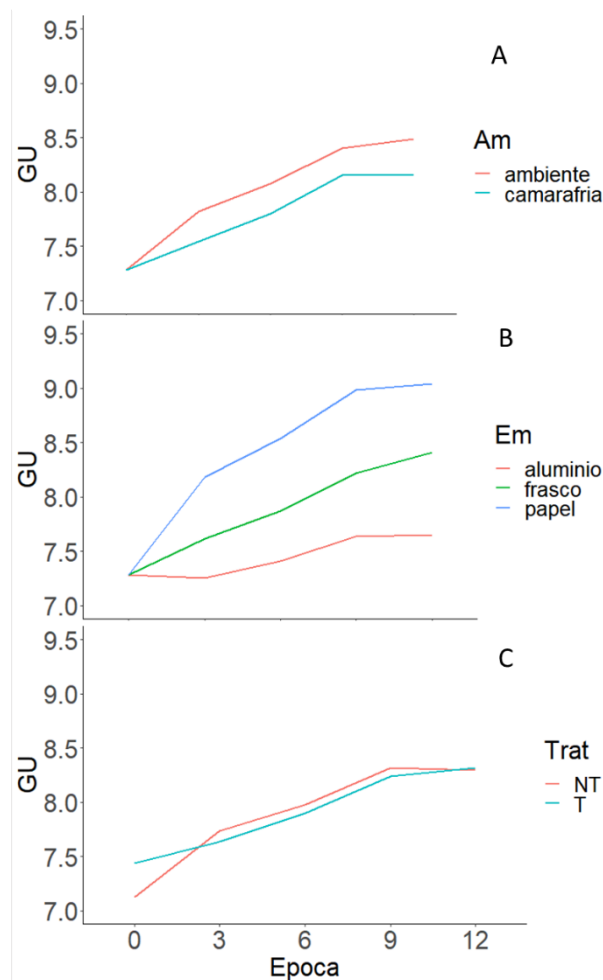
O índice de velocidade de emergência foi realizado juntamente com a avaliação da emergência de plântulas, no entanto, as plântulas emergidas foram contadas diariamente até a estabilização. A sanidade de sementes foi avaliada pelo método de método de *blotter test*. Quatro repetições de 50 sementes por tratamento foram colocadas em placas de petri transparentes com tampa, contendo em três folhas de papel-filtro e umedecido com água (ambos previamente esterilizados). As amostras foram incubadas a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ por 7 dias para as sementes não tratadas e 10 dias para as tratadas e depois examinadas individualmente em microscópio e foi computada toda ocorrência de frutificação típica de crescimento fúngico, conforme a metodologia no Manual de Análise de Sanitária de Sementes (BRASIL, 2009).

O experimento foi montado no delineamento inteiramente ao acaso, esquema fatorial $5 \times 3 \times 2 \times 2$ com fontes de variação: época (0, 3, 6, 9 e 12 meses de armazenamento), tipo de embalagem (papel *Kraft*, envelope aluminado e recipiente plástico), tratamento químico (semente tratada e não tratada) e ambiente de armazenamento (ambiente e câmara fria). A análise estatística foi realizada utilizando o modelo misto. Foi utilizado a transformação logarítmica no ajuste das variáveis IVG e IVE em $\log(\text{IVG}+0.001)$ e $\log(\text{IVE}+0.001)$ respectivamente. As pressuposições de normalidade e homogeneidade da variância foram consideradas. De início foi ajustado um modelo completo e depois um reduzido baseado na estatística de máxima verossimilhança, onde foi considerado como modelo bem ajustado aquele com o menor critério de informação de Akaike (AIC) ou Bayesiano (BIC). O pacote estatístico utilizado foi o lme4 do R (R Studio, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água nas sementes aumentou ao longo de todo armazenamento para todas as embalagens, ambientes e em sementes tratadas e não tratadas (FIGURA 1). As embalagens de papel e recipiente ofereceram uma atmosfera mais favorável para absorção de vapor de água do ambiente em relação as embaladas em envelopes de alumínio principalmente quando armazenadas ao ambiente independente do tratamento da semente, ao longo do tempo de armazenamento.

Figura 1 - Variação do teor de água da semente em função do ambiente (Am), do tipo de embalagem (Em) e do tratamento da semente (Trat.) ao longo de 12 meses de armazenamento de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)



Fonte: Da autora (2022)

Por serem higroscópicas as sementes no recipiente trocam vapor de água com o ambiente até atingirem o equilíbrio. A tendência e a velocidade do movimento dependem da umidade relativa (UR) da atmosfera, da temperatura, do teor de água da semente, composição química (teor de óleo), tamanho e propriedades de revestimento da semente, explicado por isotermas de sorção (WHITEHOUSE; HAY; LUSTY, 2020; FAO, 2018). A 25°C, a semente de tomate vai entrar em equilíbrio com o ambiente a 60% de UR quando esta tiver um conteúdo de água a 9.2% (FAO, 2018).

Portanto, nas condições de ambiente no presente estudo (63% de UR e 24°C, em média durante o tempo de armazenamento) e $7\pm 0.5\%$ de teor de água inicial a semente vai tender a absorver vapor de água e mais rapidamente em relação a semente armazenadas na câmara fria (50% de UR a 10°C) onde já se encontram em equilíbrio (HORNKE et al., 2020). De fato, foi observado que sementes armazenadas ao ambiente absorveram mais e mais rapidamente vapor de água ao ambiente do que em câmara fria ($p < 0,05$; FIGURA 1A).

Demir; Gökdaş; Türer (2020) e Carpenter; Ostmark; Cornell (1995) observaram que a 25°C, UR 52% o teor de água de sementes de algumas espécies de flores anuais foi até 37% maior em relação ao das sementes armazenadas a 5°C. Isto acontece porque o aumento da temperatura fornece maior vapor de água disponível para a semente quando comparado ao ar mais frio, mesmo quando a umidade relativa é mantida constante (ZHANG et al., 2021 e autores citados; ALSADON, 2003) e a perda de teor de água (a dessorção) é mais lenta e menor em relação a absorção de água pelos tecidos das sementes (WHITEHOUSE; HAY; LUSTY, 2020; SELVI; SARASWATHY, 2018). Então, mais água será retida pelas sementes quando a UR for variável.

Além do ambiente, o tipo de recipiente também influenciou na velocidade de absorção de vapor de água. Sementes armazenadas em papel absorveram mais e mais rapidamente vapor de água, seguida das armazenadas no recipiente e depois no alumínio ($p < 0,05$; FIGURA 1B). Para as sementes armazenadas no papel logo, a partir do 3º mês já foram observadas diferenças em relação ao início do armazenamento e no recipiente de plástico a partir do 6º mês. De fato, a vantagem do armazenamento hermético em envelopes de alumínio está em esta oferecer uma maior barreira entre a semente e a atmosfera externa, mantendo o teor de água estável quando comparado a recipientes mais permeáveis (BASU, 2020; FAO, 2018; SOH et al., 2014; ELLIS; HONG, 2007).

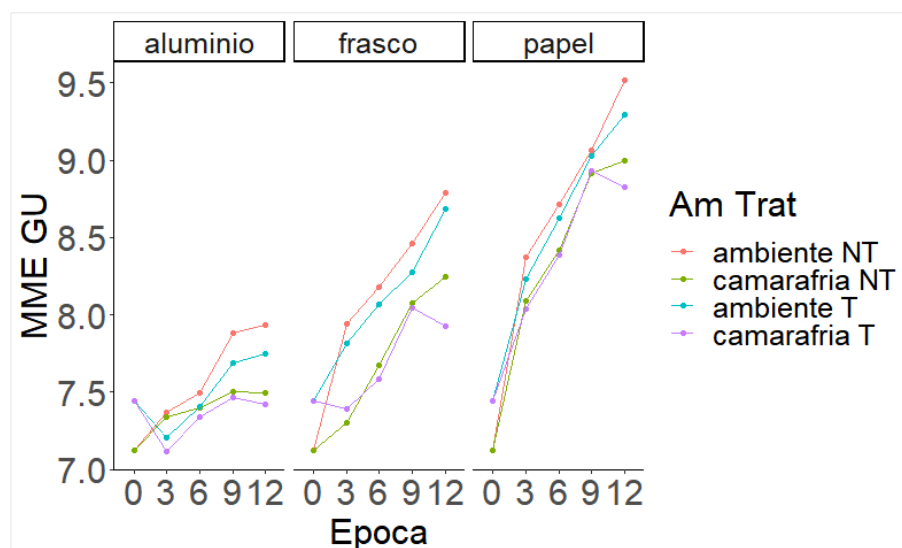
Recipientes plásticos também oferecem maior barreira contra absorção de água pela semente em relação ao papel, material bem mais poroso (SOH et al., 2014). No entanto, a tampa de rosca no recipiente utilizado na pesquisa pode ter permitido maior entrada de vapor de água

em relação a embalagem de alumínio (GROOT et al., 2015). Além disso, por serem sementes pequenas (SELVI; SARASWATHY, 2018; KIKUZAWA; KOYAMA, 1999) e conterem mucilagem a volta do tegumento (DEMIR; GÖKDAŞ; TÜNER, 2020) as sementes de tomate, assim como as sementes de algumas hortaliças e flores que, dependendo da temperatura podem absorvem rapidamente vapor de água do ambiente.

Com respeito ao tratamento da semente, sementes tratadas continham maior teor de água no início do armazenamento ($p>0,001$; FIGURA 1C), no entanto, durante o armazenamento não foram observadas diferenças entre sementes tratadas e não tratadas embora, para ambas, o teor de água da semente aumentou com o tempo quando comparado ao início de armazenamento ($p<0,001$).

Da interação (FIGURA 2) pode-se observar que, sementes embaladas em envelopes de alumínio absorveram menos vapor de água do ambiente independente do ambiente e tratamento de sementes ($p=0$). Comportamento similar foi observado em sementes embalados no recipiente de plástico quando armazenadas em câmara fria (FIGURA 2). Já para o recipiente de papel a partir do 3º mês de armazenamento a absorção de água pelas sementes já era maior em relação ao absorvido por sementes no alumínio em todo armazenamento.

Figura 2 - Efeito da interação: ambiente; tratamento da semente e embalagem sobre o teor de água de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ao longo de 12 meses de armazenamento.

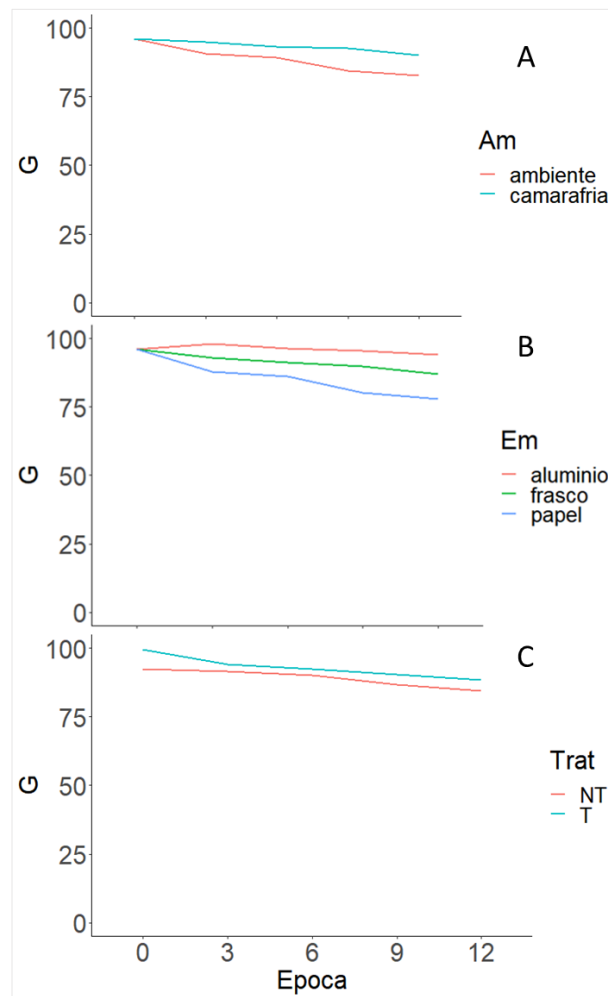


Fonte: Da autora (2022)

O acúmulo de teor de água na semente durante o armazenamento é prejudicial pois, induz a deterioração da semente (ZINSMEISTER; LEPRINCE; BUITINK, 2020;

CARPENTER; OSTMARK. 1995). Isso foi observado nos resultados de germinação (FIGURA 3). Sementes ao ambiente e embaladas em papel perderam a viabilidade mais rapidamente que as armazenadas na câmara fria e embaladas no recipiente plástico e envelopes de alumínio.

Figura 3 - Efeito do ambiente de armazenamento, do tipo de embalagem e tratamento da semente sobre a germinação de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*).



Fonte: Da autora (2022)

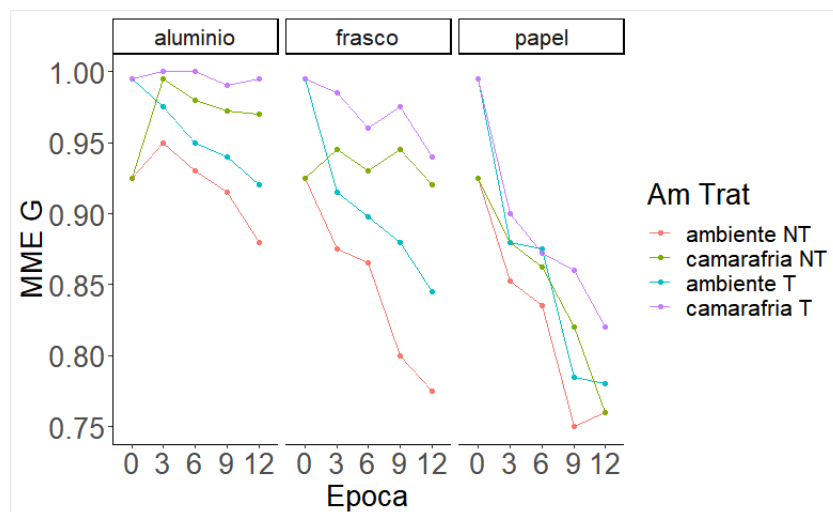
O aumento da UR resulta no aumento do teor de água da semente que, por sua vez causa envelhecimento da semente (RAO; DULLOO; ENGELS, 2017) e o aumento da temperatura causa aumento na taxa de reações químicas na semente iniciando, assim os primeiros estágios de deterioração (BALDANIYA; KARJULE; PATIL, 2017). Em cebola, sementes com teor de até 8% perderam viabilidade em um ano de armazenamento quando armazenadas a 25 °C e a perda de viabilidade foi mais rápida e até perda completamente aos 18 meses de

armazenamento quando embaladas em sacos de pano (TRIPATHI; LAWANDE, 2014). A deterioração foi mais acentuada em sementes com 8% de teor de água, fato este também relatado em cebola (RAO; SINGH; RAI, 2006) e em flores (CARPENTER; OSTMARK, 1995). Na presente, esse teor de humidade foi alcançado rapidamente por sementes na embalagem em papel e no recipiente de plástico e principalmente quando armazenadas ao ambiente (FIGURA 3A, B).

Sementes tratadas continham maior teor de água no início do tratamento ainda assim, a germinação da semente foi maior em relação a sementes não tratadas ($p > 0,0001$; FIGURA 3C). Isto sugere que o tratamento químico propiciou um alívio contra a pressão de patógenos do campo presas às sementes o que pode ter promovido a germinação de sementes (AHMED et al., 2017). No entanto, por razões não explicadas este efeito não continuou durante o armazenamento.

Da interação (FIGURA 4) pode-se observar que, sementes embaladas em envelopes de alumínio mantiveram a viabilidade acima da recomendação para comercialização (80% no Brasil) longo de todo tempo de armazenamento independente do ambiente e tratamento da semente. Enquanto que, para as sementes embaladas no recipiente de plástico a viabilidade caiu para abaixo da recomendação ao 9º mês de armazenamento ao ambiente quando não tratada e no papel independente do tratamento ($p=0$).

Figura 4 – Efeito da interação: ambiente (Am); tratamento da semente (Trat.) e tipo de embalagem sobre a germinação (G) de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ao longo de 12 meses de armazenamento.

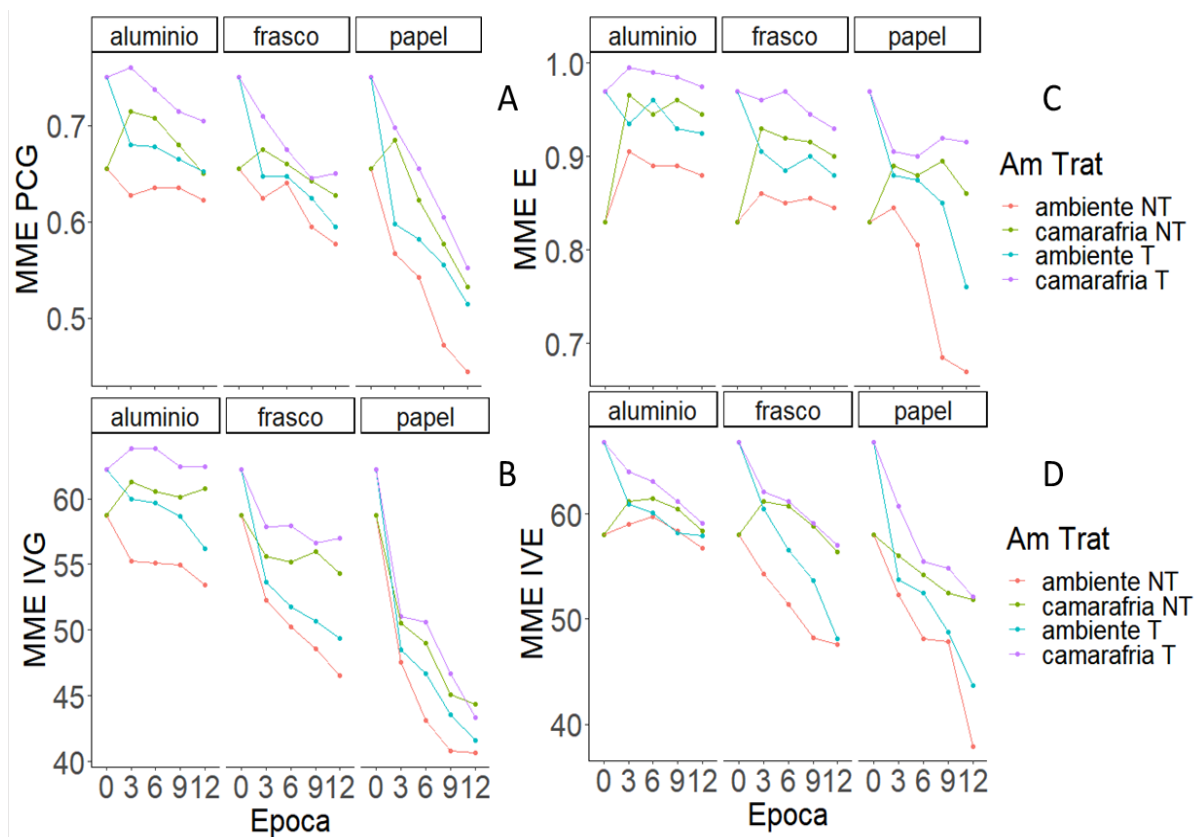


Fonte: Da autora (2022)

Isto sugere maior perda de viabilidade no armazenamento ao ambiente e em embalagens mais permeáveis, no entanto, no caso do recipiente de plástico a viabilidade pode ser mantida por mais tempo com o tratamento da semente. Em tomate, Ariyaratna; Weerasena; Beneragama (2020) observaram que a viabilidade de sementes hermeticamente armazenadas caiu para abaixo de 75% de 2,9 a 6,4 meses dependendo da zona agroecológica. No entanto, sementes nas mesmas condições de embalagem, mas armazenadas em câmara fria ($17\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 65% de UR) a viabilidade não foi comprometida até 29 meses de armazenamento.

No entanto, os parâmetros de vigor geralmente são mais sensíveis ao armazenamento em relação a germinação (ALHAMDAN et al., 2011; ALSADON, 2003). Da interação sobre os parâmetros de vigor pode-se observar que o vigor diminuiu longo do tempo de armazenamento com maior velocidade para sementes ao ambiente e armazenadas em papel (FIGURA 5).

Figura 5 – Efeito da interação: ambiente (Am); tratamento da semente (Trat.) e tipo de embalagem sobre o vigor de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ao longo de 12 meses de armazenamento.



PCG: primeira contagem de germinação (%); IVG, índice de velocidade de germinação; E: emergência de plântulas; IVE: índice de velocidade de emergência. Fonte: Da autora (2022)

As sementes não tratadas, embaladas em papel e armazenadas ao ambiente tiveram mais baixas porcentagens de primeira contagem de germinação e emergência de plântulas em relação a todos os outros tratamentos ($p < 0,0001$; FIGURA 5A; C). Ainda, as sementes armazenadas ao ambiente embaladas nos recipientes plásticos e armazenadas em papel independente do ambiente e tratamento tiveram mais baixos índices de velocidade de germinação e de emergência logo, a partir do 3º mês de armazenamento quando comparados aos resultados de sementes armazenadas em envelopes de papel ($p < 0,0001$; FIGURA 5B, C). Sugerindo maior sensibilidade dos parâmetros de vigor.

No tomate, Nigam et al. (2019) encontraram que o vigor das sementes e o índice de vigor diminuíram com o período de envelhecimento, enquanto a perda de germinação tornou-se mais acentuada representada pelos tempos médios de germinação. Em cebola, Alhamdan et al. (2011) observaram que a velocidade de germinação das sementes diminuiu e o tempo médio para germinação aumentou ao longo do período de armazenamento, com efeitos mais acentuados sobre sementes armazenadas a 15, 25 e 35°C e a UR cada vez maiores em comparação a 5°C e UR menores, respectivamente.

A queda rápida da germinação e vigor em sementes de cebola armazenadas ao ambiente foi atribuída a processos respiratórios que utilizam a energia mantida na semente que impossibilitam a semente de germinar devido ao fornecimento insuficiente de açúcares solúveis, em especial quando embaladas em embalagens mais permeáveis (BALDANIYA et al., 2018; BALDANIYA; KARJULE; PATIL, 2017; RAO; SINGH; RAI, 2006).

Sob condições ambientais (20°C e 50% UR) a matriz vítrea da semente está próxima de sua temperatura de transição vítrea e qualquer aumento na temperatura ou UR fará com que o tecido fique acima da sua temperatura de transição vítrea e a mobilidade do citoplasma é gradualmente restaurada (BUTINK; LEPRINCE, 2008). Daí, a taxa de reações químicas na semente aumenta iniciando assim os primeiros estágios de deterioração (ZHANG et al., 2021). Os primeiros sintomas são a germinação atrasada, aumento de taxas de anormalidades que culminam na perda total de viabilidade e morte do embrião (SANO et al., 2016).

Em recipientes de vidro ou de plástico com tampa de rosca a perda da viabilidade é atribuído ao acúmulo de danos causado pela presença e aumento de espécies reativas de oxigênio (ROS) devido a sua permeabilidade ao oxigênio em vários graus (GROOT et al., 2015). Na presença de oxigênio ocorre a respiração aeróbica que é responsável pela quebra de carboidratos, gorduras e proteínas em dióxido de carbono, água e energia, sendo esta última utilizada pelas células para alimentar processos metabólicos e que depois é liberada na forma

de calor (FAO, 2018) o que explica o consumo de energia e aumento de umidade em embalagens herméticas.

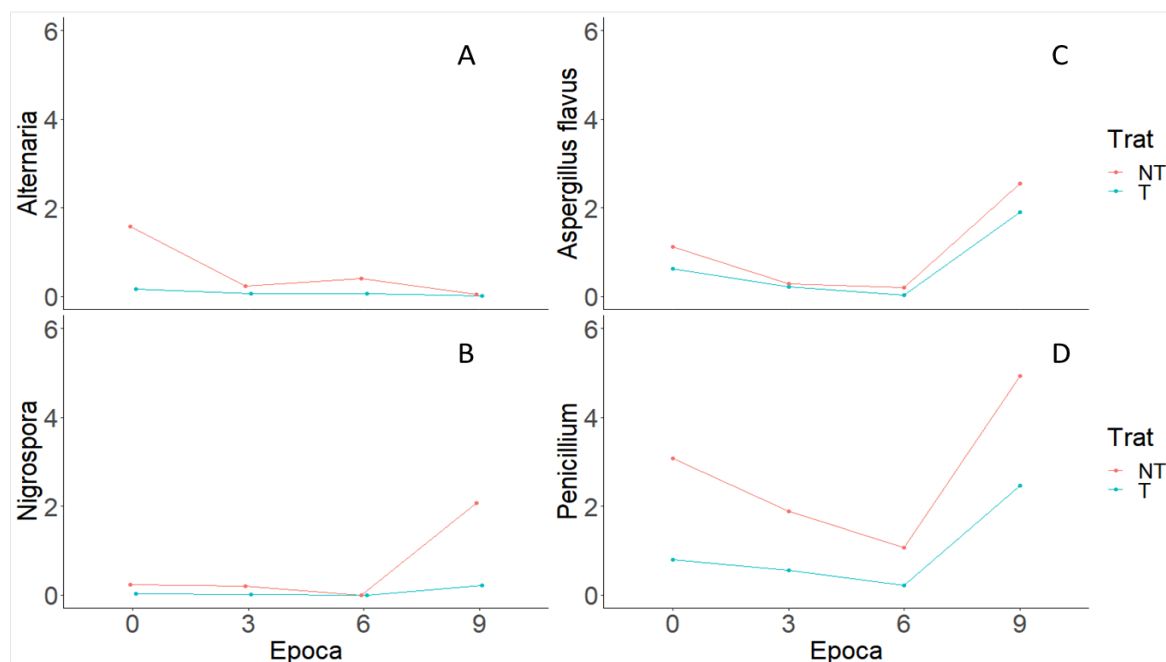
Na cadeia respiratória radicais superóxido O_2^- são gerados devido ao vazamento de elétrons na cadeia de transporte que, são convertidos em H_2O_2 pela SOD mitocondrial e estes reagem com metais de transição gerando radicais hidroxila OH^- com alta toxicidade e atividade; (GONZÁLEZ-BENITO et al., 2011). Então, níveis de O_2^- , H_2O_2 e OH^- aumentam nos eixos embrionários e cotilédones das sementes causando redução na germinação (KUREK; PLITTA-MICHALAK; RATAJCZAK, 2019).

Ademais, em geral, o tratamento químico de sementes tem sido associado, para além da redução do inóculo, a promoção da germinação, melhora nos sistemas radiculares e parte aérea de plântulas, com eficácia sempre superior a 80% (LAMICHHANE et al., 2020; MANCINI; ROMANAZZI, 2014). De fato, Ahmed et al. (2017) testaram vários fungicidas incluindo Rovral (0,25% do peso da semente) no pré armazenamento de sementes observaram que este reduziu efetivamente os fungos transmitidos por sementes e promoveu melhor desempenho na germinação e vigor de sementes de cebola. Também observado na presente pesquisa no início do armazenamento.

Todavia, não foram observadas diferenças entre sementes tratadas e não tratadas durante todo tempo de armazenamento, embora, muitas vezes as sementes tratadas apresentaram melhor performance em relação as sementes não tratadas ($p=0$). Isto difere do relatado por Latif et al. (2006) em mostarda (*Brassica campestris* L.) e Islam et al. (2007) em rabanete que encontraram notável aumento na germinação e vigor de sementes utilizando o fungicida Iprodione (Rovral®).

Na presente pesquisa os fungos isolados das sementes incluíram espécies de *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Dreshelela*, *Chaetomium*, *Phoma*, *Nigrospora*, *Cladosporium*, *Rhizopus*, *Coletotrichum* e *Curvularia*. Em sementes de tomate, a infecção por estes fungos também foi relatada por Chohan et al. (2017), Ismael (2010) e Mancini; Romanazzi (2014). Dentre os fungos isolados os mais predominantes foram *Penicillium*, *Aspergillus flavus*, *Nigrospora*, e *Alternaria alternata*, na proporção de 0,43; 0,19; 0,08 e 0,07, respectivamente, em todos tratamentos durante todo armazenamento e sua incidência ao longo do tempo de armazenamento é mostrada na FIGURA 6.

Figura 6 – Efeito do tratamento de sementes na prevalência de alguns fungos de sementes tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ao longo de 9 meses de armazenamento.



Fonte: Da autora (2022)

O tratamento de sementes foi eficaz no controle de *Penicillium* e *Alternaria* no início do armazenamento ($p > 0,0001$; FIGURA 6A, D), também encontrado por Islam et al. (2007) e Latif et al. (2006), utilizando o fungicida Iprodione (Rovral®). No entanto, não foram notadas diferenças em termos de tratamento, embalagem e ambiente para todos os outros fungos exceto para *Penicillium* e *Nigrospora* com respeito ao tratamento, aos 9 meses de armazenamento.

SHAKIR et al. (2015) relataram que, por razões não explicadas, nalguns poucos casos os pesticidas por eles avaliados não diferiram do controle ou ainda foram considerados tóxicos as sementes de tomate mesmo sob em doses recomendadas. Algo similar foi reportado por CHAHID et al. (2013) quando avaliaram o efeito da alfa-ciperimetrina na germinação de sementes de tomate utilizando 4 diluições da concentração recomendada. Os resultados mostraram diminuição na taxa de germinação em todas as concentrações estudadas.

Os fungos de campo como *Alternaria*, *Cladosporium* e *Curvularia* diminuiram enquanto que os de armazenamento como *Nigrospora*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, e *Rhizopus* aumentaram ao longo do tempo de armazenamento (ver FIGURA 6), comportamento também observado por Malaker et al. (2008) no trigo. Exsudatos de algumas espécies de *Aspergillus* (*niger* e *flavus*), *Penicillium* (*digitatum*), *Rhizopus* (*arrhizus* e *stolonifer*), *Cladosporium* sp. (ISMAEL, 2010) e *Alternaria alternata* (NISHIKAWA et al.,

2006) causaram efeitos negativos significativos na germinação de sementes de tomate, beringela e pimenta (ISMAEL, 2010), o que torna imprescindível o seu controle para manutenção da viabilidade da semente.

4 CONCLUSÃO

A qualidade de sementes de tomate foi afetada pelo ambiente de armazenamento, tipo de embalagem e tratamento da semente. Sementes armazenadas em câmara fria e envelopes de alumínio conservaram a semente por até 12 meses com germinação acima de 80%. O tratamento da semente propiciou o controle de *Alternaria alternata* e *Penicillium* e maior germinação e vigor de sementes no início do armazenamento e a manutenção das sementes em recipientes de plástico ao ambiente por até 12 meses de armazenamento.

As sementes em recipientes de plástico e de papel absorveram mais vapor de água do ambiente e a manutenção da qualidade da semente nestes em nível aceitável quando armazenada ao ambiente só foi possível quando a semente foi tratada, recipiente de plástico ou por até 9 meses quando não tratada ou embalada em envelopes de papel.

REFERÊNCIAS

- AHMED, B. et al. Occurrence and distribution of vegetables seed-borne mycoflora in punjab pakistan. **Pakistan Journal of Phytopathology**, v. 29, n. 2, p. 265–271, 2017.
- ALHAMDAN, A. M. et al. Influence of Storage Conditions on Seed Quality and Longevity of Four Vegetable Crops. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.**, v. 11, n. 3, p. 353–359, 2011.
- ALSADON, A. A. Water sorption isotherms of vegetable seeds as influenced by seed species and storage temperature. **Assiut Journal of Agricultural Sciences (Egypt)**, v. 32, n. 2, p. 157–170, 2003.
- ARIYARATHNA, R. A. I. S.; WEERASENA, S. L.; BENERAGAMA, C. K. Deleterious effects of storage environmental conditions on the seed quality of two varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) stored in triple laminated aluminum packing in Sri Lanka. **International Journal of Applied Sciences and Biotechnology**, v. 8, n. 4, p. 437–447, 2020.
- BALDANIYA, N. et al. Effect of containers and duration on seed quality of onion under ambient storage conditions. **Seed Research Journal**, v. 45, n. 2, p. 1–4, 2018.
- BALDANIYA, N.; KARJULE, A. P.; PATIL, K. Effect of storage containers and durations on enzymatic activity of onion seed under ambient and cold temperature condition. **Trends in Biosciences**, v. 10, n. 35, p. 7408–7412, 2017.
- BASU, R. N. Seed viability. In: BASRA, A. S. (Ed.). . **Seed quality. Basic Mechanisms and Agricultural Implications**. 1st Editio ed. New York: CRC Press, 2020. p. 1–44.
- BOREM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. [s.l.] Oficina de Textos, 2021.
- BRASIL. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento., 2009.
- BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state. **C. R. Biologies**, v. 331, p. 788–795, 2008.
- CARPENTER, W. J.; OSTMARK, E. R.; CORNELL, J. A. Evaluation of temperature and moisture content during storage on the germination of flowering annual seed. **HORTSCIENCE**, v. 30, n. 5, p. 1003–1006, 1995.
- CHAHID, K. et al. Effect of Alpha-cypermethrin on morphological parameters in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **American Journal of Environmental Protection**, v. 2, n. 6, p. 149–153, 2013.
- CHOHAN, S. et al. Management of seed borne fungal diseases of tomato: a review. **Pakistan Journal of Phytopathology**, v. 29, n. 01, p. 193–200, 2017.
- DEMIR, İ.; GÖKDAŞ, Z.; TÜRER, N. İ. E. Changes in seed germination during storage of flower seeds: species differences. **International Journal of Agriculture and Wildlife Science (IJAWS)**, v. 6, n. 3, p. 416–422, 2020.
- DESHEVA, G. The longevity of crop seeds stored under long-term condition in the national gene bank of bulgaria. **Agriculture (Pol'nohospodárstvo)**, v. 62, n. 3, p. 90–100, 2016.
- DIRK, L. M. A.; DOWNIE, A. B. An examination of Job's rule: protection and repair of the

proteins of the translational apparatus in seeds - Review. **Seed Science Research**, v. 28, p. 168–181, 2018.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D. Seed longevity – moisture content relationships in hermetic and open storage. **Seed Science and Technology**, v. 35, p. 423–431, 2007.

FAO. **Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture**. Revised ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

FAO. **Seeds toolkit - Module 6: Seed storage**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018.

GÓMEZ-CAMPO, C. Erosion of genetic resources within seed genebanks: the role of seed containers. **Seed Science Research**, v. 16, p. 291–294, 2006.

GONZÁLEZ-BENITO, M. E. et al. Effect of the gaseous environment and water content on seed viability of four Brassicaceae species after 36 years storage. **Seed Science and Technology**, v. 39, p. 443–451, 2011.

GROOT, S. P. C. et al. Prolonging the longevity of ex situ conserved seeds by storage under anoxia. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, v. 13, n. 1, p. 18–26, 2015.

HAMIM, I. et al. Effect of seed borne pathogens on germination of some vegetable seeds. **Journal of Phytopathology and Pest Management**, v. 1, n. 1, p. 34–51, 2014.

HORNKE, N. F. et al. Physiological potential of onion seeds stored in different packings and environments. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 312–318, 2020.

ISLAM, S. S. et al. Efficacy of fungicidal seed treatment in controlling alternaria spp. in radish seed. **International journal of sustainable crop production**, v. 2, n. 5, p. 46–50, 2007.

ISMAEL, J. H. S. Solation and identification of some fungi from certain solanaceous seeds in sulaimania and germian regions and their exudate effects on germination rate. **AGRICULTURE AND BIOLOGY JOURNAL OF NORTH AMERICA**, v. 1, n. 4, p. 615–619, 2010.

KIKUZAWA, K.; KOYAMA, H. Scaling of soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues. **Seed Science Research**, v. 9, n. 2, p. 171–178, 1999.

KUREK, K.; PLITTA-MICHALAK, B.; RATAJCZAK, E. Reactive oxygen species as potential drivers of the seed aging process. **Plants**, v. 8, n. 174, p. 1–13, 2019.

LAMICHHANE, J. R. et al. Revisiting sustainability of fungicide seed treatments for field crops. **Plant Disease**, v. 104, n. 3, p. 610–623, 2020.

LATIF, M. A. et al. Efficacy of some plant extracts in controlling seed-borne fungal infections of mustard. **Bangladesh journal of microbiology**, v. 23, n. 2, p. 168–170, 2006.

MALAKER, P. K. et al. Effect of storage containers and time on seed quality of wheat. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 33, n. 3, p. 469–477, 2008.

MANCINI, V.; ROMANAZZI, G. Seed treatments to control seedborne fungal pathogens of vegetable crops. **pest management science**, v. 70, n. 6, p. 860–868, 2014.

NASCIMENTO, W. M. Produção de sementes de hortaliças para a agricultura familiar. **Circular Técnica 35, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, n.

35, p. 16, 2005.

NIGAM, M. et al. Accelerated ageing induces physiological and biochemical changes in tomato seeds involving MAPK pathways. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 20–28, 2019.

NISHIKAWA, J. et al. Seedborne fungi detected on stored solanaceous berry seeds and their biological activities. **Journal of General Plant Pathology**, v. 72, n. 5, p. 305–3013, 2006.

RAO, N. K.; DULLOO, M. E.; ENGELS, J. M. M. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, n. 5, p. 1061–1074, 2017.

RAO, R. G. S.; SINGH, P. M.; RAI, M. Storability of onion seeds and effects of packaging and storage conditions on viability and vigour. **Scientia Horticulturae**, v. 110, p. 1–6, 2006.

ROOS, E. E.; DAVIDSON, D. A. Record longevities of vegetable seeds in storage. **HORTSCIENCE**, v. 27, n. 5, p. 393–396, 1992.

SANO, N. et al. Staying alive: molecular aspects of seed longevity. **Plant & Cell Physiology**, v. 57, n. 4, p. 660–674, 2016.

SELVI, D. T.; SARASWATHY, S. Seed viability, seed deterioration and seed quality improvements in stored onion seeds: a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 93, n. 1, p. 1–7, 2018.

SHAKIR, S. K. et al. Effect of some commonly used pesticides on seed germination, biomass production and photosynthetic pigments in tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Ecotoxicology**, p. 13, 2015.

SMOLIKOVA, G. et al. Desiccation tolerance as the basis of long-term seed viability. **International Journal of molecular sciences**, v. 22, n. 1, p. 101, 2021.

SOH, E. et al. Change of germination rate for chili pepper and chinese cabbage seed in relation to packaging materials and storage conditions over 10 years. **Korean Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 32, n. 6, p. 864–871, 2014.

SOOMRO, T. A. et al. Effect of *Alternaria* sp on seed germination in rapeseed, and its control with seed treatment. **Journal of Cereals and Oilseeds**, v. 11, n. 1, p. 1–6, 2020.

TRIPATHI, P. C.; LAWANDE, K. E. Effect of seed moisture and packing material on viability and vigour of onion seed. **Journal of Engineering Computers & Applied Sciences(JECAS)**, v. 3, n. 7, 2014.

WALTERS, C.; WHEELER, L. M.; GROTEHUIS, J. M. Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. **Seed Science Research**, v. 15, n. 1, p. 1–20, 2005.

WHITEHOUSE, K. J.; HAY, F. R.; LUSTY, C. Why seed physiology is important for genebanking. **Plants**, v. 9, n. 584, 2020.

ZINSMEISTER, J.; LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Molecular and environmental factors regulating seed longevity. **Biochemical journal**, v. 477, n. 2, p. 305–323, 2020. .