



Universidade de Brasília

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA - FAV

**Avaliação do ponto de maturidade fisiológica da semente de soja
preta pela coloração do tegumento**

PEDRO GOUVEIA DE AZEVEDO MAIA

Brasília, DF

2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

AVALIAÇÃO DO PONTO DE MATURIDADE DA SEMENTE DE SOJA PRETA PELA
COLORAÇÃO DO TEGUMENTO

PEDRO GOUVEIA DE AZEVEDO MAIA

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de graduação em Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora:

Prof. Dr. Everaldo Anastácio Pereira (Orientador) - UnB

Prof. Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar (Co-orientador) - UnB

M.^a Estela Reis de Andrade, Doutoranda (Membro) - UnB

Prof. Ricardo Carmona, PhD (Membro) - UnB

Brasília, 07 de dezembro de 2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MM217a Maia, Pedro Gouveia de Azevedo
Avaliação do ponto de maturidade fisiológica da semente de
soja preta pela coloração do tegumento / Pedro Gouveia de
Azevedo Maia; orientador Everaldo Anastácio Pereira; co
orientador Ernandes Rodrigues de Alencar. -- Brasília, 2018.
48 p.

Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de
Brasília, 2018.

1. Soja preta. 2. Maturidade fisiológica. 3. Colorimetria
e Espectrofotometria. 4. Germinação. I. Anastácio Pereira,
Everaldo, orient. II. Rodrigues de Alencar, Ernandes, co
orient. III. Título.

*Aos meus pais,
Por custearem os meus estudos e este trabalho.*

*Ao povo Brasileiro,
Por custear os meus estudos e este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Everaldo Pereira, pelo empenho e paciência na orientação desta pesquisa, pela sua pronta disponibilidade em compartilhar conhecimento e auxiliar no que fosse preciso.

Aos professores Ernandes Alencar e Nara Oliveira, por gentilmente terem cedido espaço físico e condições para realização deste trabalho, ao professor Ernandes, principalmente, pela orientação prestada em momentos cruciais.

Ao Ricardo, técnico do Laboratório de Sementes, ao Afonso, assistente do professor Everaldo na EEB, e ao Márcio, técnico do Laboratório de Análises de Alimentos, por também terem contribuído e me ajudado a progredir com este trabalho.

Agradeço ainda aos professores Ricardo Carmona, por ter prontamente se disponibilizado a participar da avaliação deste trabalho e Tairone Leão, cujos ensinamentos ao longo deste último período letivo foram de suma importância.

Aos meus pais, amigos e familiares que me deram a base e sustentação para tudo que conquistei e hei de conquistar em minha vida. Muito obrigado!

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| LISTA DE TABELAS | ii |
| LISTA DE FIGURAS | iii |
| RESUMO | iv |
| ABSTRACT | v |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1. OBJETIVOS GERAIS..... | 3 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1. SOBRE A CULTURA..... | 4 |
| 3.2. DESENVOLVIMENTO E FENOLOGIA..... | 8 |
| 3.3. FISIOLOGIA DA MUDANÇA DE COR..... | 11 |
| 3.4. MÉTODO DE COLORIMETRIA E ESPECTROFOTOMETRIA..... | 13 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 5.1. AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA..... | 28 |
| 5.2. TESTES DE GERMINAÇÃO..... | 33 |
| 5.2.1. Testes de germinação em BOD..... | 33 |
| 5.2.2. Testes de germinação em areia..... | 36 |
| 6. CONCLUSÕES | 38 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 39 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1. Grupos de cor classificados quanto às características visuais das sementes..... | 18 |
| TABELA 2. Dados da análise colorimétrica das sementes | 28 |
| TABELA 3. Classificação da variação total de cor | 29 |
| TABELA 4.1. Resultados dos cálculos de diferença total de cor das amostras..... | 30 |
| TABELA 4.2. Resultados dos cálculos de diferença total de cor das amostras..... | 31 |
| TABELA 4.3. Resultados dos cálculos de diferença total de cor das amostras..... | 32 |
| TABELA 5. Parâmetros utilizados para classificação de sementes de acordo com a variação de cor das amostras..... | 33 |
| TABELA 6. Resultados dos testes de germinação em câmara BOD, expresso como média do percentual de sementes germinadas por grupo..... | 34 |
| TABELA 7. Taxa de germinação conforme as diferentes fases de desenvolvimento..... | 35 |
| TABELA 8. Resultados dos testes de germinação e emergência em areia dos diferentes grupos de cor do genótipo UnB 1125..... | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Espaço de cor HunterLab..... | 14 |
| FIGURA 2. Espectrofotômetro ColorQuest XE® da HunterLab, no Laboratório de Análises de alimentos da FAV-UnB..... | 17 |
| FIGURA 3. Foto das sementes do grupo VRD da semana 0..... | 19 |
| FIGURA 4. Foto das sementes do grupo VRD da semana 1..... | 19 |
| FIGURA 5. Foto das sementes do grupo VRS da semana 1..... | 20 |
| FIGURA 6. Foto das sementes do grupo VRX- da semana 1..... | 20 |
| FIGURA 7. Foto das sementes do grupo VRX- da semana 2..... | 21 |
| FIGURA 8. Foto das sementes do grupo VRX+ da semana 2..... | 21 |
| FIGURA 9. Foto das sementes do grupo ARX- da semana 2..... | 22 |
| FIGURA 10. Foto das sementes do grupo ARX+ da semana 3..... | 22 |
| FIGURA 11. Foto das sementes do grupo RXA da semana 3..... | 23 |
| FIGURA 12. Foto das sementes do grupo RXV da semana 3..... | 23 |
| FIGURA 13. Foto das sementes do grupo VP da semana 3..... | 24 |
| FIGURA 14. Foto das sementes do grupo PRT da semana 3..... | 24 |
| FIGURA 15. Sacos plásticos utilizados para acondicionar as amostras submetidas ao aparelho de colorimetria..... | 25 |
| FIGURA 16. Gráfico do percentual médio de germinação de acordo com a fase de desenvolvimento..... | 35 |
| FIGURA 17. Gráfico dos resultados de germinação e emergência em areia..... | 37 |

RESUMO

A soja é o carro chefe da agricultura brasileira, é responsável pela ocupação de mais da metade da área semeada com grãos no Brasil e é o segundo maior produto em valor de exportação do país. No entanto, a soja de tegumento preto é pouco conhecida no ocidente, apesar de ser considerada alimento tradicional em países asiáticos. Dentre os benefícios da soja preta estão o seu elevado teor de proteínas e aminoácidos essenciais, além da presença de compostos antioxidantes, como as antocianinas encontradas na sua casca, que ajudam no combate a doenças como hipertensão, doenças cardíacas e até o câncer. Por haver poucos estudos referentes às variedades de tegumento preto de soja, ela não é produzida ou comercializada em larga escala, por essa razão surge a possibilidade de criação e ampliação de um nicho de mercado para pequenos produtores que tenham interesse em diversificar sua produção. Visando contribuir com essa possibilidade, buscou-se avaliar nesta cultura um importante atributo dos alimentos cultivados, o ponto de maturidade fisiológica. A soja preta apresenta uma peculiar característica de mudança de coloração do seu tegumento conforme se desenrola o processo de maturação, e, baseado nisso, e nas atuais técnicas de colorimetria e espectrofotometria, o presente trabalho buscou associar a capacidade germinativa das sementes à sua coloração, concluindo que somente quando as sementes estão pretas é que se pode afirmar que se encontram no ponto de maturidade fisiológica

Palavras chave: *Glycine max*, antocianinas, tegumento, colorimetria, espectrofotometria, germinação.

ABSTRACT

The soybean is the flagship of Brazilian conventional agriculture; it is responsible for the occupation of more than half of the area cultivated with grains in Brazil. Besides that, it is the country's second largest exported product. However, the black soybeans are little known by the western world, even though it is considered a traditional food by some eastern people. Among the benefits that black soybeans provides, are the high protein and essential amino acids level, and the presence of antioxidant compounds like the anthocyanins found in the shell, that can help in fighting diseases like hypertension, heart diseases and even cancer. As there are very few studies about the black soybeans, it is not commercialized or produced in large scale, for this reason, the possibility of developing a new market niche for small farmers comes to light. Aiming to contribute to this possibility, it was sought to evaluate, for this variety, an important aspect of cultivated plants, the physiological maturity point. Black soybeans have a peculiar color-changing characteristic during its maturation process. Based on this information, and with the help of modern colorimetry and spectrophotometry techniques, this very study aimed to connect the germination rate to the color of the seeds, as a result lighting up the conclusion that only completely black seeds can be classified as physiologically mature.

Key words: Soy, black soybeans, anthocyanins, tegument, colorimetry, spectrophotometry, ripening point, physiological maturity, germination.

1. INTRODUÇÃO

A Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura granífera de maior expressão no Brasil. Segundo o boletim da CONAB de setembro de 2018, a área plantada com soja na safra 2017/2018 foi de 35.149,3 mil hectares e a produção foi de 119.281,4 mil toneladas, sendo grande parte desta destinada à exportação, à obtenção do óleo de soja, à produção de farelo e torta de soja para alimentação animal, às indústrias alimentícias e de cosméticos, e, também, para consumo *in-natura*. Devido à sua enorme importância econômica, a soja é também uma das culturas mais estudadas e desenvolvidas tecnologicamente; havendo, até a presente data, 1917 cultivares registradas no Registro Nacional de Cultivares (MAPA, 2018); com diversas qualidades e características. Mas nenhuma variedade de tegumento preto figura entre as cultivares comerciais nos catálogos das principais empresas.

Alguns estudos já demonstraram que a soja preta possui características que a tornam mais preferível, ao consumo humano, do que as variedades de casca amarela. Apesar da qualidade nutricional desses dois tipos de soja, tegumento preto e tegumento amarelo, não variar (REZENDE, 2012); as variedades de casca preta apresentam maior quantidade de compostos fenólicos e flavonóides, que são substâncias antioxidantes; e principalmente a alta concentração de antocianinas na casca, substância responsável pela coloração preta, e que atuam favorecendo o emagrecimento; podendo ter, também, efeito anticarcinogênico, de acordo com estudos realizados sobre esses compostos, mas de fontes vegetais diferentes (MAGALHÃES et. al., 2017).

Agronomicamente, a soja de grãos pretos também pode ser utilizada em programas de melhoramento por possuir características desejáveis, como uma possível maior resistência a danos mecânicos devido ao seu alto teor de lignina no tegumento, observado na linhagem UnB 1125 (ANDRADE, 2012), que é o material de estudo desta pesquisa. O autor deste trabalho também especula uma boa capacidade das plantas dessa linhagem em reagir a infestações de ácaro, visto que durante o experimento surgiram sinais e sintomas desta praga e as plantas acabaram conseguindo recuperar satisfatoriamente o vigor nas folhas novas.

Tais informações, somadas à crescente demanda de soja para consumo diretamente humano, apontam para a possibilidade de desenvolvimento de um nicho ou ramo de mercado direcionado à produção de soja preta por produtores de menor porte, objetivando a comercialização desse produto em mercados mais regionalizados; uma vez que o mercado da

soja amarela é, em sua maioria, dominado por grandes produtores que dão destinação diferente dessa ao produto. Essa foi uma das principais motivações para este trabalho, que visa contribuir, de alguma forma, com essa possibilidade.

Algumas informações observáveis sobre a semente de soja preta são que ela tem coloração verde no início de sua formação e enchimento (estádio R5), e a mudança de cor ocorre gradualmente com a maturação, onde as antocianinas e pró-antocianinas, que já estão presentes na semente desde a sua formação (TODD & VODKIN, 1993), porém ainda não apresentam coloração visível, começam a tingir a casca por volta dos 50 dias após a antese (L. M. MERTZ et al., 2009). Uma das razões para esse fenômeno é o *degreening*, processo de degradação da clorofila, pigmento mais abundante nos estágios prematuros, nas sementes (WARD et al., 1995; JALINK et al., 1998). Ainda segundo Todd e Vodkin (1993), isso também pode ser explicado pois algumas antocianinas, como as *delphinidinas*, só começam a se depositar na parede do tegumento da semente em estágios mais avançados do amadurecimento.

O intuito deste trabalho foi avaliar o processo de amadurecimento da semente pela relação entre a mudança de cor no tegumento e o seu potencial germinativo, tentando apontar de forma mais precisa e calibrada, o que é possível graças a tecnologia de colorimetria, qual a cor que indica a maturidade da mesma. O conhecimento do ponto de maturação da semente é de extrema importância, pois, é neste ponto que a semente tem máximo potencial germinativo, vigor, qualidade, peso e matéria seca; sendo também o momento em que o processo de deterioração se inicia (TRZECIAK, 2012; SINNECKER, 2002; MARCOS FILHO, 1980). Apesar da maturidade ocorrer em ponto anterior à colheita, devido ao teor de umidade da semente ainda ser muito alto, segundo diversos autores que estudaram a maturidade da soja, citados por Marcos Filho (1980), conhecer o ponto de maturação pode auxiliar o produtor a planejar o momento em que se deve dessecar a lavoura para colheita.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Relacionar a maturação fisiológica da semente de soja de tegumento preto - linhagem UnB 1125, com sua característica sensorial de coloração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Quantificar a cor das sementes, por meio aparelho de colorimetria, em diferentes estágios de amadurecimento.
- II. Classificar as etapas de amadurecimento da semente, com base no perfil de mudança de coloração do tegumento durante esse processo.
- III. Determinar o ponto de maturidade fisiológica pela correlação entre a taxa de germinação e a cor do tegumento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SOBRE A CULTURA

A soja é uma planta anual da família **Fabaceae**, de nome científico *Glycine Max*, pertencente ao grupo das dicotiledôneas. Seu centro de origem é relatado como sendo o leste asiático, onde teria sido domesticada a partir de seu progenitor selvagem *G. Soja* Sieb & Zucc. (CHUNG & SINGH, 2008). No Brasil, os primeiros registros históricos de cultivos experimentais dessa planta são do ano de 1882, no Estado da Bahia, onde não se obteve êxito. (CÂMARA, 2016)

Somente na segunda década do século XX, a soja foi introduzida de maneira satisfatória no país, tendo este fato ocorrido no Estado do Rio Grande do Sul, onde as condições climáticas, principalmente o fotoperíodo, foram mais compatíveis com as cultivares trazidas dos Estados Unidos da América naquela época. (BONETTI, 1981 apud FREITAS, 2011)

Os cultivos de soja no Brasil, até a década de 60, se limitavam praticamente ao Rio Grande do Sul (ALLIPRANDINI et. al., 1993); apenas com o advento da revolução verde no Brasil, nesta época, é que as pesquisas sobre a soja se intensificaram, e a implantação de programas de melhoramento desta cultura possibilitou a expansão da mesma para regiões de menor latitude, com o surgimento de novas cultivares adaptadas por meio de introgressão de genes que atrasam o florescimento, mesmo em condições de fotoperíodo indutivo, conferindo um período juvenil maior a estas novas cultivares (KIIHL & GARCIA, 1989 apud FREITAS, 2011).

Durante a década de 60, as lavouras de soja se estabeleceram significativamente nos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Goiás (ALLIPRANDINI et. al., 1993). Mas apenas na década seguinte a cultura se consolidou como a principal lavoura do agronegócio brasileiro. Na década de 70, a produção brasileira de soja foi quase dez vezes maior que na década anterior. Diversos foram os fatores responsáveis por essa conquista; dentre eles: o aumento da área cultivada, o desenvolvimento de cultivares melhoradas, os incentivos fiscais aos produtores de trigo, que passaram a cultivar soja no verão, e novas tecnologias de mecanização agrícola (DALL'AGNOL, 2011). Segundo Conceição (1986), nessa época, a cotação da soja no mercado internacional era excelente, o que propiciava um aumento anual da oferta de soja, de tal maneira que foi nesse período que a cultura se tornou a principal do estado do Rio Grande do Sul.

Em termos econômicos é notório que, com o seu crescimento no que tange ao volume de produção, a soja vem ganhando cada vez mais importância. Em seu levantamento, Ferreira (2011) aponta que a participação do valor bruto de produção (VBP), apenas da soja, no ano de 1995, correspondia a 0,52% do produto interno bruto (PIB) nacional, enquanto que no ano de 2008, esse percentual saltou para 1,48%. Segundo dados do Ministério da Fazenda (2018), a soja representa hoje 24,8% do valor bruto de produção de todo o agronegócio brasileiro.

O sucesso da soja no território brasileiro deve muito, também, às pesquisas e ao melhoramento voltados não só para sua adaptabilidade edafoclimática, mas para aspectos produtivos como resistência e manejo das mais de 40 principais pragas (MOREIRA & ARAGÃO, 2009) e quase 40 doenças (GRIGOLLI, 2015) que afligem a cultura, fertilidade dos solos e resposta à adubação e inoculação para fixação biológica de nitrogênio, e o manejo fitotécnico no controle de outros fatores.

Outro fator importantíssimo para a consolidação da soja, principalmente nas últimas duas décadas, foi o desenvolvimento da biotecnologia que permitiu a elaboração e uso de tecnologias de modificação genética de organismos na agricultura. Estudos feitos nas safras de 2004/05 e 2005/06, por Menegatti & Barros (2007), e por Furlaneto et. al. (2006), respectivamente, nos Estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo, mostraram que, nesta época, o custo de produção da soja transgênica chegava a ser aproximadamente 10% menor se comparado à soja convencional.

Para Wesz & Bueno (2008), as exigências tecnológicas para o cultivo da soja cresceram de tal maneira, que a produção de soja em pequenas propriedades se tornou quase inviável; em seu estudo, buscaram entender as razões pelas quais ainda haviam produtores trabalhando com essa cultura na região de Vitória das Missões - RS. Chegaram à conclusão que, mesmo com o volume produzido no país, a soja ainda é um produto de fácil comercialização, mesmo para pequenos produtores, ainda que o valor não seja tão satisfatório. Além disso, a existência de crédito rural que financie essa produção, o desconhecimento dos custos de produção e as poucas alternativas de culturas que os produtores têm conhecimento e/ou assistência técnica para produzir, são os principais fatores que, até a data da pesquisa, ainda mantinham pequenos agricultores na sojicultura.

Nesse sentido, abre-se uma janela de discussão quanto a participação da soja na segurança alimentar brasileira e de seu potencial para gerar desenvolvimento econômico em uma escala mais regional; através da sua produção por pequenos produtores e agricultores

familiares, destinada ao mercado local para usos diferentes da *commodity*. Almejando sua comercialização e utilização diretamente como uma hortaliça, seja como grãos verdes colhidos antes de amadurecerem, ou como brotos (CARRÃO-PANIZZI, 2018).

O consumo de soja na alimentação humana já vem crescendo no mundo todo por diversas razões. No Brasil, este fenômeno deve muito à divulgação dos benefícios da soja para a saúde humana, ao crescimento da oferta no mercado de produtos à base de soja de melhor qualidade e ao desenvolvimento de técnicas adequadas de preparo que ajudam a contornar os problemas de sabor desagradável e propriedades antinutricionais. Muitas indústrias têm desenvolvido alimentos à base de soja, que vão desde bebidas até macarrão e preparados para bolos (CARRÃO-PANIZZI, 2011).

Por se tratar de um alimento funcional, a soja tem recebido crescente divulgação, devido aos seus comprovados benefícios à saúde. Ainda segundo Carrão-Panizzi (2006), os fatores que tornam a soja um alimento tão benéfico são o seu elevado teor de proteínas de alto valor biológico, presença de vitaminas, minerais e compostos bioativos; dentre estes, citando alguns controversos, que podem ser considerados fatores antinutricionais, como os fitatos, que supostamente ajudam na prevenção do câncer e redução de doenças como diabetes e problemas vasculares; inibidores de protease, saponinas e isoflavonas, que também auxiliam na prevenção do câncer. Já os fitoesteróis, peptídeos e diversos outros compostos fenólicos, como as isoflavonas, que potencialmente diminuem os riscos de doenças cardiovasculares, diabetes, perda óssea e câncer, além de contribuir para redução do colesterol (KANG et. al., 2010 apud REZENDE, D.F., 2012) entram no rol de compostos bioativos menos controversos.

A soja preta, além de todos esses benefícios, conta ainda com a presença de antocianinas, o que é frequentemente utilizado como marketing devido à atividade antioxidante desses compostos (REZENDE, D.F., 2012). Esteves et. al. (2015) analisaram o teor de antocianinas presentes em sementes de soja preta adquiridas a granel no estado de São Paulo, Brasil; verificaram que os níveis dessas substâncias estavam de acordo com o relatado por Zhang et. al. (2011) e concluíram ainda, através de ensaios de redução do radical estável 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) em solução metanólica, pelo extrato ou composto antioxidante da soja preta, que, de fato, esses compostos apresentam promissor potencial de redução de radicais livres.

Quanto a suas características agronômicas, a soja de tegumento preto possui uma característica interessante ao melhoramento que é seu alto teor de lignina, sugerido por diversos

autores citados por Andrade (2012), e por ela mesma comprovado em sua monografia; um maior teor de lignina no tegumento da semente de soja tem sido relacionado a uma maior tolerância aos danos mecânicos, enquanto a resistência à deterioração no campo tem sido relacionada ao grau de permeabilidade do tegumento (ALVAREZ, 1997. Apud MERTZ et. al., 2009).

Ainda segundo Mertz et. al. (2009), citando França Neto et. al. (2000), uma menor permeabilidade do tegumento torna as sementes menos suscetíveis à deterioração pelas condições de umidade no campo, além de conferir uma menor incidência de patógenos transmitidos por sementes, maior potencial de armazenamento e menor ocorrência de danos, sejam mecânicos ou causados por fatores bióticos como percevejos. O autor diz ainda que apesar de todas essas vantagens, sementes com tegumento semipermeável não são utilizadas comercialmente por se tratarem de linhagens não melhoradas, com tegumento preto, e que não apresentam características presentes nas cultivares modernas.

Outros autores reafirmam a relação entre o alto teor de lignina, a baixa permeabilidade e a qualidade das sementes de soja, são o caso de Gris et. al. (2010), que cita Braccini (1993) e França Neto & Krzyzwanoski (2003); e Huth (2015), citando Mcdougall et. al. (1996), que afirma que a impermeabilidade do tegumento é conferida pela lignificação do mesmo, exercendo, através disso, efeito significativo sobre a capacidade e velocidade de absorção de água.

3.2 DESENVOLVIMENTO E FENOLOGIA

O desenvolvimento da planta de soja começa com a germinação da semente viva. O processo germinativo se inicia com a embebição da semente; processo físico, dividido em três partes, que se caracteriza inicialmente pelo rápido influxo de água através do tegumento da semente seca, movido pelo potencial matricial da mesma.

Quando plenamente hidratada, cessa-se momentaneamente a entrada de água na semente, é a segunda fase do processo, e se desencadeiam reações químicas, que reativam o metabolismo da semente, ocasionando a produção de substâncias osmoticamente ativas, principalmente proteínas (a partir de RNA-m pré-sintetizado), o que faz reiniciar a absorção de água, terceira fase, com isso também se inicia o desenvolvimento do embrião, que começa a realizar mitose e síntese de DNA, ocorrendo alongamento celular no mesmo, e começa a mobilizar o material de reserva da semente. (BEWLEY, 1997)

Segundo Bradford (1990), esta segunda etapa é a mais importante em termos de regulação da germinação, pois esta, em sentido fisiológico, é considerada completa quando o crescimento do embrião se inicia. Segundo ele, fatores como dormência, temperatura, déficit hídrico, concentração de ácido abscísico (ABA), e promotores de germinação atuam alongando ou encurtando essa fase do processo.

Ainda para Bewley (1997), a extensão da radícula através dos tecidos que a rodeiam, ou, mais precisamente, o momento em que a radícula atravessa o tegumento, representa os momentos finais da germinação. Segundo ele, há três possíveis explicações para que o crescimento da radícula ocorra mais rapidamente que das demais partes, a primeira seria devido a turgidez que ela adquire na etapa final do processo de embebição, fato que ocorre pela deposição mais acentuada de solutos nos tecidos radiculares, diminuindo assim seu potencial osmótico e causando nesta região uma absorção de água mais acentuada.

Outra explicação é que as células da radícula se tornam mais maleáveis nessa etapa, ainda que o mecanismo para que isso ocorra seja incerto, parece ter relação com a ação de enzimas (Expansinas) que supostamente quebram algumas ligações de hidrogênio das moléculas que compõem a parede celular, deixando-a mais maleável e suscetível ao alongamento. E, ainda, há a possibilidade de que simplesmente as células dos tecidos ao redor da radícula se enfraqueçam primeiro, dando espaço para a extensão dela (BEWLEY, 1997).

Todo o processo, desde o início da embebição até a emergência leva de 5 a 10 dias (HANWAY & THOMPSON, 1967). A emergência é caracterizada pelo aparecimento completo

dos cotilédones acima da linha solo, e corresponde ao estágio VE, na escala de Fehr & Caviness (1977). Completada a emergência, cessa-se também o crescimento do hipocótilo. Em seguida, no estágio VC, ocorre a abertura e desenvolvimento dos cotilédones, que vão nutrir a plântula por até 2 semanas após a emergência.

O próximo estágio, V1, caracteriza-se pelo aparecimento do primeiro par de folhas verdadeiras, que são os únicos unifólios da planta, e são opostas no caule. Do estágio V2 em diante, o critério para se determinar o estágio é o completo desenvolvimento de cada novo trifólio, que filotaxicamente são classificados como alternadas no caule. Ao surgimento do primeiro trifólio o estágio é V2, no segundo trifólio é V3, assim por diante, até Vn. O número de estádios vegetativos vai depender do genótipo de cada cultivar, e da época e local de plantio (FEHR & CAVINESS, 1977).

Como a soja é uma planta de dia curto, uma vez ultrapassado seu período juvenil e atingido o fotoperíodo crítico, a planta entra em estágio reprodutivo, diminuindo drasticamente seu crescimento vegetativo e iniciando a floração, isso ocorre nas cultivares de crescimento determinado, como aparentemente é o caso da linhagem UnB 1125, de tegumento preto (ANDRADE, E.R. 2012; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). O Primeiro estágio do período reprodutivo, R1, representa o início do florescimento e se dá com a abertura completa de pelo menos uma flor na haste principal.

O estágio R2 representa o pleno florescimento da planta, e, o R3, o início da frutificação e declínio do florescimento; o R4 é a frutificação plena, onde a maior parte das vagens já estão formadas (canivetes). A formação dos grãos nas vagens se inicia no estágio R5, onde vai acumulando massa até que se atinja o estágio R6, que representa justamente a vagem “cheia”, onde os grãos já se encontram com alto teor de matéria seca, umidade e coloração ainda verde (RITCHIE et. al., 1982; CÂMARA, 2006; FEHR & CAVINESS, 1977).

O enchimento dos grãos é um forte dreno na planta, e, por isso, o amarelecimento nas folhas acompanha este estágio, essa senescência das folhas aumenta deste ponto em diante, até que finalmente caiam nos estádios seguintes; sendo eles o R7, onde ocorre a maturação e perda de umidade da planta e dos grãos, que chega a 50% nesta fase e é quando a semente muda de cor do verde para a cor característica da cultivar. O estágio R8 é quando a semente atinge sua senescência completa e o teor de umidade cai para níveis abaixo de 15%.

Segundo Adam & Rinne (1981), é justamente a desidratação da semente que controla o processo de maturação. As alterações no conteúdo de água, à medida que ocorre a

desidratação, podem causar alterações no metabolismo das sementes (ROSEMBERG; RINNE, 1986; TRZECIAK, 2012).

Uma importante propriedade que indica a qualidade de uma semente é o seu grau de maturidade, sementes imaturas ou não completamente maduras são, em termos gerais, de menor qualidade se comparadas a sementes maduras (JALINK et. al. 1998).

A maturidade fisiológica de uma semente individual de soja ocorre quando o acúmulo de matéria seca cessa, e isso tende a coincidir com a mudança completa de cor da semente, e muitas vezes da vagem, de verde para amarelo, nas cultivares de tegumento amarelo, esse momento representa o estágio R7 (RITCHIE, 1985). Para Obendorf et. al., (1980); Kermodé (1986); Bewley (1986) e Miles et. al., (1988), citados por Trzeciak (2012), a maturidade é atingida quando as sementes adquirem capacidade de germinar, mesmo não tendo completado o processo de desenvolvimento e dessecação.

Segundo Popinigis (1985), a maturação compreende as transformações morfológicas, fisiológicas e funcionais que se sucedem no óvulo fertilizado, e culmina no atingimento do máximo poder germinativo, vigor, e matéria seca da semente.

E para Adams et. al. (1983) apud Trzeciak (2012), a maturação é a fase final do processo de produção, e ocorre naturalmente quando a semente alcança máxima matéria seca; o processo de maturação é uma fase metabolicamente ativa, que envolve proteínas, utilização do amido e produção de açúcares solúveis. Segundo Pukittayacamee & Hellum (1998) e Amaral (1990), também citados por Trzeciak (2012), o grau de umidade, a massa fresca e a coloração também podem ser utilizadas para determinar a idade fisiológica das sementes.

Segundo Marcos Filho (2005), citado por Marcandalli et. al. (2011), na cultura da soja, a maturação é extremamente desuniforme. O ponto de maturidade fisiológica, além do máximo acúmulo de matéria seca, coincide também com um elevado teor de umidade, de 45% a 50% (ANDREWS, 1966. apud VEIGA et. al., 2006), muito acima do recomendado para a colheita, que é de 12 a 15%.

3.3 FISILOGIA DA MUDANÇA DE COR

Diferentemente da maioria das outras espécies vegetais, em que o fenótipo dominante é caracterizado pela presença de pigmentação na casca das sementes, a soja, por sua vez, possui três *loci* (*I*, *R* e *T*) que controlam essa pigmentação, sendo que o *locus I*, que tem função inibidora, possui quatro alelos que controlam a ausência ou presença dos pigmentos, bem como a sua distribuição espacial ao longo do tegumento. Assim, apenas as cultivares que são homozigóticas recessivas para os alelos *i*, possuem coloração diferente da amarela (sem pigmento). (TODD & VODKIN, 1993).

Para Zabala & Vodkin, 2002; os genes nos loci *R* e *T* determinam a produção de antocianinas e pró-antocianinas, conseqüentemente determinando a cor da semente quando madura e seca. Podendo apresentar sementes pretas (*i*, *R*, *T*), pretas imperfeitas (*i*, *R*, *t*), marrons (*i*, *r*, *T*) ou bege (*i*, *r*, *t*).

Mertz et al., (2009), caracterizaram morfológicamente, através de microscopia eletrônica, a estrutura do tegumento de sementes de soja de genótipos de tegumento preto e amarelo, coletadas aos 25, 40 e 55 dias após a antese. Nesse estudo, identificaram a presença de 3 camadas no tegumento, sendo elas a epiderme da testa, hipoderme da testa e as células parenquimatosas.

Ao comparar os dois genótipos, foi possível observar que, já aos 25 dias, as células paliçádicas da epiderme da testa no genótipo preto apresentavam-se com um aspecto serrilhado e eram bem mais alongadas que no genótipo amarelo, cujas células tinham aspecto liso. Essa diferença, segundo Alvares (1997); citado por Mertz et. al. (2009); se dá pelo alto teor de lignina nas células deste tecido no genótipo preto.

Tanto aos 25, quanto aos 40 e 55 dias após a antese, nota-se uma clara diferença nas células paliçádicas dos genótipos, onde é possível observar uma alta quantidade de pigmentação escura no genótipo TP (Tegumento Preto), que, segundo Todd & Vodkin (2003), trata-se do acúmulo de antocianinas e pró-antocianinas, que estão presentes na epiderme desde os estágios iniciais do desenvolvimento do tegumento.

Entretanto, está claro que esse acúmulo de pigmentos escuros não é visível até passado o estágio R6, fato que pode ser explicado devido ao alto teor de clorofila presente nos estágios iniciais da semente, cuja coloração se sobrepõe às dos demais pigmentos, os quais só se tornam visíveis com a diminuição dessa clorofila por um processo chamado de “degreening” (WARD et. al., 1995; JALINK et. al., 1998). Estes e diversos autores como Steckel et. al. (1989) e

Cenkowski et. al. (1989), sugerem que haja uma correlação positiva entre a degradação das moléculas de clorofila e o desenvolvimento das sementes.

As clorofilas são pigmentos encontrados nas células vegetais, principalmente nos cloroplastos, que absorvem a luz nos espectros vermelho e azul-violeta, refletindo com maior intensidade a coloração verde. Em sua tese de doutorado, Sinnecker (2002), comprovou que o teor de clorofila na semente vai diminuindo conforme avança no estágio de maturação, a partir do estágio R6.

Ainda segundo Sinnecker (2002), o mecanismo de degradação fisiológica da clorofila não é bem explicado; porém, cita Heaton & Marangoni (1996) que, segundo ela, propuseram um mecanismo de 5 etapas pelo qual a molécula de clorofila se transforma em compostos incolores e não-fluorescentes.

A primeira etapa desse processo corresponde à clivagem da molécula pela ação da enzima clorofilase, cuja atividade e expressão também não são muito conhecidas, mas que remove da molécula o grupo fitol, restando uma molécula de clorofilídeo. Paralelamente ocorre a formação de moléculas de feoftina, por ação de hídrons ou, possivelmente, da enzima magnésio-dequelatase, provocando a remoção do íon Mg^{2+} da molécula de clorofila, no caso, e da molécula de clorofilídeo, o que resulta no terceiro catabólito desse processo, o feoforbídeo.

Os demais processos parecem ser catalisados pela enzima oxigenase, a ação desta enzima requer um cofator, como a glucose-6-fosfato, primeiramente causando a desnaturação do anel de porfirina (macrociclo tetrapirrólico), o que dá origem a compostos fluorescentes e incolores. Os compostos quando são exportados dos cloroplastos para os vacúolos, sofrem novamente ação da oxigenase, transformando-se em compostos não fluorescentes e incolores, denominados rusty-pigments (HEATON & MARANGONI, 1996. Apud SINNECKER, 2002).

Essa explicação, de que o *degreening* é o principal mecanismo de mudança da coloração das sementes, demonstra-se plausível na prática, pois é possível observar, na própria semente de soja preta, que a coloração escura vai aparecendo aos poucos, muitas vezes algumas partes do tegumento se mantêm verdes enquanto alguns pontos já aparecem bem escurecidos, nesse sentido, é possível afirmar que o processo de degradação da clorofila é desencadeado inicialmente em uma face da semente, só depois migrando para o outro lado.

3.4 MÉTODO DE COLORIMETRIA E ESPECTROFOTOMETRIA

A colorimetria é uma técnica que tem sido muito utilizada por vários pesquisadores para aferir o atributo da cor em diferentes objetos de estudo como alimentos, frutos, sementes, madeira, rochas, solo e etc. A medição precisa da cor tem sido usada para avaliar direta ou indiretamente diversas características de interesse científico como o teor de pigmentos, estágio de maturação, qualidade e deterioração dos produtos, eficácia de tratamentos durante o cultivo e em pós colheita, entre outros.

Por definição, a colorimetria refere-se à ciência e à tecnologia usada para quantificar e descrever (pela ajuda de modelos matemáticos) as percepções humanas da cor (PUC-RIO). Existem vários sistemas de medição de cor, como o sistema RGB; Munsell; tri-estímulo X, Y, Z; sistema Y x y; sistema L, a, b de Hunter; sistema L*, a*, b* ou CIELAB; e o sistema L* C* h°. (ALMEIDA, 2004).

Dranski et. al. (2010) utilizaram a colorimetria para caracterizar o ponto de maturidade dos frutos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), separando as amostras em seis grupos de maturação baseados no caráter visual de cor, tamanho e umidade dos frutos. Eles analisaram a cor de cada estágio de maturação utilizando a tabela de Munsell para tecidos de plantas, e colorímetro digital que utiliza a escala de refratância RGB, caracterizando de forma precisa a coloração de cada grupo e correlacionando-os com os critérios de avaliação de maturidade, no caso, resultados dos testes de germinação, valores de matéria seca, umidade e dimensões do fruto. Concluíram que o fruto maduro possui coloração, na tabela de Munsell, correspondente ao valor 7 YR 4/2 (Marrom escuro, quase preto); e, quanto aos valores de refratância na escala RGB, encontraram os valores para o vermelho de 82.9nm, para o verde de 70.4nm, e, para o azul, 65.3nm.

Kaiser et. al. (2016) realizaram estudo semelhante, desta vez com o objetivo de determinar a maturidade fisiológica de sementes de *Allophylus edulis* [(A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.], concluindo que as sementes de *A. edulis* devem ser colhidas quando o pericarpo estiver predominantemente vermelho, independente da região de cultivo; quanto aos parâmetros colorimétricos, indicaram que os valores de refratância para a cor verde entre 28 e 49,2nm podem ser utilizados como parâmetro realização da colheita em estágio de maturação adequado dos frutos.

O espaço psicrométrico HunterLab, que foi utilizado no presente trabalho para aferir a coloração das sementes, foi desenvolvido durante as décadas de 50 e 60 por pesquisadores

envolvidos com trabalhos de mensuração de cor que, à época, utilizavam o sistema XYZ, mas este sistema não indicava precisamente a cor das amostras com base apenas nos números, e por isso buscaram criar um sistema uniforme de escala de cor.

O HunterLab representa um sistema de coordenadas tridimensionais, como ilustrado na Figura 1, organizado em forma de cubo, onde as cores são descritas pelas suas coordenadas nos eixos **L** (valor tridimensional, análogo ao eixo 'z' num sistema de coordenadas cartesianas), que indica a luminosidade; a coordenada **a** (correspondente ao eixo 'x' no sistema cartesiano), cujos valores positivos indicam uma tonalidade mais aproximada da cor vermelha, e valores negativos indicam cor mais próxima do verde; e a coordenada **b** (representando o eixo 'y' cartesiano), em que valores positivos indicam que a cor está mais pro amarelo, enquanto valores negativos indicam a cor mais pro azul (HUNTERLAB, 2012; FERREIRA & SPRICIGO, 2017).

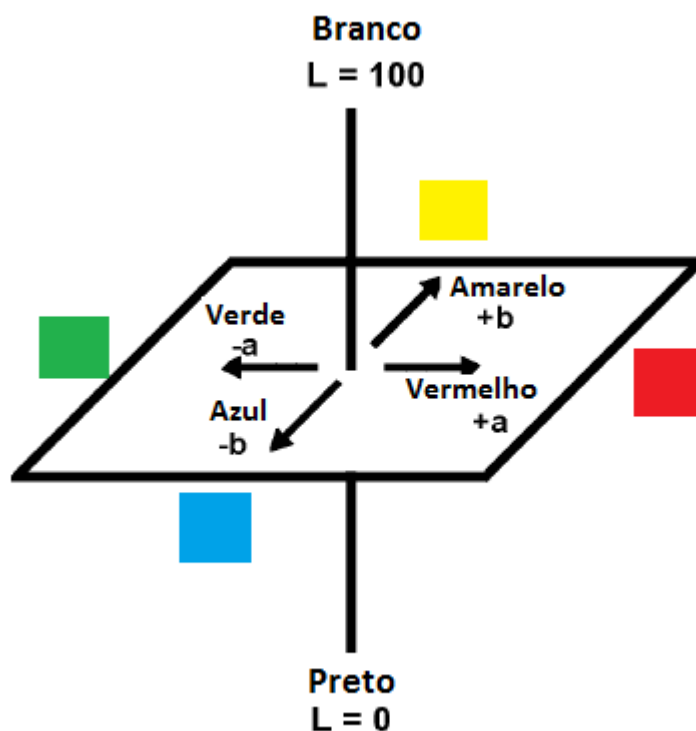


FIGURA 1 - Espaço de cor HunterLab. Adaptado pelo autor.

Outros espaços de cor muito importantes, que foram desenvolvidos logo em seguida ao HunterLab, são os espaços de cor criados pela CIE (*Comissão Internationale de l'Eclairage*, ou, em português, Comissão Internacional de Iluminação). A CIE é uma entidade internacional

independente, sem fins lucrativos, fundada em 1913 por pesquisadores autônomos, com o objetivo de harmonizar internacionalmente os critérios de medição fotométrica para a iluminação a gás e padronizar termos relativos a iluminação em geral. A comissão conta com um comitê técnico responsável por estudar o sistema visual e as cores, resultando em diretrizes para a colorimetria (LEÃO et. al., 2005. Apud GRIEBELER, 2013; CIEBrasil, INMETRO.). A CIE elaborou e definiu três espaços de cor: CIE XYZ (1931), CIE L* C* h° e CIE L*a*b* (1976); (FERREIRA & SPRICIGO, 2017).

Segundo Mcguire (1992), muitos pesquisadores publicam suas pesquisas utilizando o espaço L*a*b* apenas expressando os números que os aparelhos calculam, sem fazer as corretas e necessárias análises, uma vez que a* e b* são meras coordenadas que indiretamente refletem o hue (ângulo da tonalidade) e o croma (saturação da cor), e, isoladamente, são de difícil entendimento e não são variáveis independentes (FRANCIS, 1980. Apud MCGUIRE, 1992). Ainda segundo Mcguire (1992), ao se calcular o Croma (C*) e o hue (h°), obtém-se uma medida mais precisa da cor do objeto. O primeiro é calculado como $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$, e representa a hipotenusa de um triângulo retângulo formado pela união dos pontos (0,0), (a*, b*), e (a*, 0), no gráfico. Já o hue (h°) é o ângulo formado entre essa hipotenusa e o valor de 0° no eixo a*, podendo ser calculado pela fórmula $h^* = \arctang(b^*/a^*)$.

4. MATERIAL E MÉTODO

O material analisado, linhagem UnB 1125, cujas características já foram descritas por Andrade (2012), foi cultivado na Estação experimental de Biologia da Universidade de Brasília (15°44'08.6"S 47°52'58.7"W), tendo sido semeadas diversas parcelas ao longo do mês de janeiro de 2018 para fins de estudo e multiplicação das sementes. Para este trabalho, as plantas foram semeadas em canteiros de aproximadamente 10m² cada, totalizando 10 canteiros; foi realizado o acompanhamento do desenvolvimento das plantas até verificar que a maior parte delas se encontrava no estágio R6, onde os grãos apresentam máximo volume, enchendo completamente as vagens. Sabe-se que a partir do estágio seguinte, inicia-se o processo de amadurecimento dos grãos (FEHR & CAVINESS, 1977).

O estudo consistiu em acompanhar o desenvolvimento das vagens e das sementes a partir desse estágio, realizando amostragem a campo, semanalmente, e, em seguida, realizando os procedimentos descritos a seguir, com a finalidade de medir, de forma precisa, a cor das sementes e relacionar esse atributo com sua capacidade germinativa.

Cada amostra semanal foi obtida a partir da coleta de vagens do terço médio das plantas, selecionadas aleatoriamente, buscando retirar amostras de maneira bem distribuída entre todos os canteiros. Não tendo sido coletadas mais do que cinco vagens por planta a cada amostragem. Ao abrir as vagens foi feita a verificação visual quanto a coloração e tamanho das sementes, e, aquelas cuja coloração ou tamanho divergiam significativamente, ao olho humano, das demais, eram descartadas; no caso, sementes visivelmente danificadas ou com desenvolvimento interrompido.

No Laboratório de Análise de Alimentos da FAV-UnB, as sementes foram separadas visualmente pela coloração. Sempre que possível distinguir a cor das sementes a olho nu, estas eram separadas em grupos de coloração homogênea, mas com as cores dos grupos diferentes entre si. Cada grupo de cor foi nomeado por meio de convenção própria, com uso de siglas, para diferenciá-los, conforme descrito na Tabela 1. De cada grupo de cor, a cada semana, 50 sementes aleatórias eram utilizadas para compor uma amostra a ser submetida a análise no aparelho de espectrofotometria/colorimetria ColorQuest XE®, série CQX4404 (Figura 2); o aparelho foi padronizado a cada dia de amostragem, com uso das placas de calibração do equipamento. Possibilitando assim a aferição exata de sua coloração no espaço de cor HunterLab, e possibilitando ainda os cálculos dos parâmetros *Croma* e ângulo *Hue*.



FIGURA 2 - Espectrofotômetro ColorQuest XE®, da HunterLab, no Laboratório de Análises de alimentos da FAV-UnB.

As amostras submetidas ao espectrofotômetro foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, ilustrados na Figura 15, o que proporciona um contato adequado do aparelho com a amostra, mesmo não sendo o recipiente padrão do equipamento. Foram feitas cinco leituras para cada amostra, tomando-se o cuidado para que cada leitura representasse pontos diferentes das amostras; os dados expressos na Tabela 2, na parte de resultados, exprimem a média das cinco leituras. As Figuras 3 a 14 ilustram as amostras de cada um dos grupos de cor.

TABELA 1 - Grupos de cor classificados quanto às características visuais das sementes.

| Grupo (Sigla) | Descrição |
|----------------------|--|
| VRD | Sementes verdes |
| VRS | Sementes verdes com princípio de arroxamento |
| VRX- | Sementes verdes com arroxamento moderado |
| VRX+ | Sementes verdes com arroxamento intenso |
| ARX- | Sementes amarelas com arroxamento moderado |
| ARX+ | Sementes amarelas com arroxamento intenso |
| RXV | Sementes roxas com traços de verde |
| RXA | Sementes roxas com traços de amarelo |
| VP | Sementes vinho-avermelhadas com escurecimento intenso |
| PRT | Sementes pretas |



FIGURA 3 – Foto das sementes do grupo VRD da semana 0 (10/04/2018)



FIGURA 4 – Foto das sementes do grupo VRD da semana 1 (17/04/2018)



FIGURA 5 – Foto das sementes do grupo VRS da semana 1 (17/04/2018)



FIGURA 6 – Foto das sementes do grupo VRX- da semana 1 (17/04/2018)



FIGURA 7 – Foto das sementes do grupo VRX- da semana 2 (24/04/2018)



FIGURA 8 – Foto das sementes do grupo VRX+ da semana 2 (24/04/2018)



FIGURA 9 – Foto das sementes do grupo ARX- da semana 2 (24/04/2018)



FIGURA 10 – Foto das sementes do grupo ARX+ da semana 2 (24/04/2018)



FIGURA 11 – Foto das sementes do grupo RXA da semana 3 (03/05/2018)



FIGURA 12 – Foto das sementes do grupo RXV da semana 3 (03/05/2018)



FIGURA 13 – Foto das sementes do grupo VP da semana 3 (03/05/2018)



FIGURA 14 – Foto das sementes do grupo PRT da semana 3 (03/05/2018)



FIGURA 15 - Sacos plásticos utilizados para acondicionar as amostras submetidas ao aparelho de colorimetria.

Na semana 1, não foi possível diferenciar a cor das sementes entre si, pois toda a amostra era composta por sementes visivelmente verdes, por esta razão, todas as subamostras na primeira semana representavam apenas o grupo VRD (verde), e os dados deste grupo foram utilizados como parâmetro para se estabelecer o máximo valor de diferença de cor para se classificar sementes dentro de um mesmo grupo.

Nas semanas 3 e 4, uma das amostras analisadas no espectrofotômetro foi denominada MIX; na semana 3 a amostra MIX representava uma mistura de todos os grupos de cor obtidos naquela data, essa amostra também foi composta por 50 sementes contendo de 12 a 13 sementes de cada um dos quatro grupos daquela semana; a intenção, no caso, era apenas avaliar se os dados desse grupo MIX coincidiam com a média dos dados de coloração dos demais grupos. Já na semana 4, o grupo MIX foi formado por sementes de difícil distinção entre os grupos RXV e RXA, cuja diferença básica entre esses grupos era a tonalidade da parte da semente que não se encontrava escurecida. Quando não consegui definir a olho nu se essa tonalidade era mais pro verde ou pro amarelo, a semente era destinada ao grupo MIX.

Para calcular a diferença total de cor entre as três coordenadas de cada amostra, baseado nos dados obtidos pelo aparelho, foi utilizada a equação abaixo (equação 1); sugerida no site da KONICA MINOLTA. Tal equação foi aplicada utilizando o software Microsoft Office Excel (2016), onde, na Tabela 4, foi calculada a diferença de cor entre cada uma das amostras com todas as demais. Este cálculo serviu para determinar o valor máximo de variação de cor para que uma amostra pudesse ser classificada no mesmo grupo de outra.

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (1)$$

Onde: ΔL^* = diferença entre os valores de L^* das amostras sendo comparadas

Δa^* = diferença entre os valores de a^* das amostras sendo comparadas

Δb^* = diferença entre os valores de b^* das amostras sendo comparadas

Como o procedimento de mensuração da cor não é destrutivo, as sementes analisadas nesse aparelho foram também utilizadas nos testes de germinação. Uma vez aferidos os dados de cada grupo de cor, as sementes foram submetidas aos testes de germinação. O primeiro, realizado no Laboratório de Análises de Sementes da FAV-UnB, foi o teste em câmaras BOD, utilizando como substrato papel germitest e técnica rolo de papel, conforme recomendações da RAS (Regras para Análises de Sementes), no escuro e sob temperatura de 25°C (MAPA, 2009).

Foram testadas 400 sementes a cada semana, divididas em 8 repetições de 50 sementes. Cada repetição continha sementes de apenas um único grupo de cor, e o número de repetições para cada grupo de cor dependeu da disponibilidade de sementes para representá-los, desta forma, alguns grupos tiveram mais repetições que outros. Assim, quando não havia sementes suficientes de um mesmo grupo para compor uma repetição, elas eram utilizadas em uma repetição mix, composta por estas sementes e sementes restantes de outro grupo de coloração aproximada.

O segundo teste, cuja intenção era corroborar os dados do teste em câmara, foi conduzido em bandejas de germinação, utilizando como substrato areia lavada de granulometria fina a média. Foram testadas 144 sementes verdes, separadas em duas repetições de 72, 144 pretas separadas em duas repetições de 72, e 216 intermediárias, sendo três repetições de 72 sementes, uma do grupo ARX, uma do grupo VRX e uma composta por sementes misturadas

dos grupos RXV e RXA. Os testes em areia foram montados nos mesmos dias dos testes em laboratório, exceto na semana 5, que foram montados no dia seguinte. As sementes, provenientes das mesmas coletas realizadas para os testes em câmara de germinação, foram semeadas a uma profundidade de 1cm no substrato.

Para o teste em câmara, a RAS recomenda uma duração total do teste de 8 dias, sendo a primeira leitura realizada com 5 dias após a montagem. Porém, neste estudo, a primeira leitura só pode ser feita após 7 dias, e a segunda após 14 dias. Como a data da segunda leitura foi muito além do recomendado, ainda que a variação de resultados entre uma leitura e a outra tenha sido muito pequena, para fins de avaliação, foram aproveitados apenas os dados da primeira leitura. Já para o teste em areia, a duração do experimento foi padronizada em 14 dias, o que possibilitou visualizar melhor as estruturas presentes nas plântulas.

No teste em papel, a avaliação foi baseada em critério dicotômico, ou a semente era germinada ou não germinada, sem levar em consideração, portanto, o grau de desenvolvimento e anomalias das plântulas. Foram consideradas germinadas aquelas sementes que foram capazes de emitir a radícula (protrusão radicular). No substrato Areia, foram contabilizadas as sementes não germinadas, as que só ocorreram protrusão de radícula, as que emergiram e as plântulas normais, com todas as estruturas presentes e íntegras.

O delineamento experimental para este trabalho foi do tipo completamente casualizado; realizando, semanalmente, 5 repetições para as análises colorimétricas e 8 repetições para os testes de germinação em câmara. E 7 repetições ao todo para o teste de germinação em areia. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software Microsoft Excel 2016® e por meio de linguagem de programação R.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA

Após a definição dos grupos de cor pelo critério visual, os dados obtidos no espectrofotômetro serviram de base para calcular os parâmetros máximos de diferença total de cor para classificar cada uma das amostras em seus respectivos grupos. A tabela 2 traz os dados obtidos pelo aparelho, bem como a coloração aproximada de cada amostra, obtida utilizando a ferramenta de personalização de cores do Excel.

TABELA 2 - Dados da análise de colorimétrica das sementes.

| Data | Grupo | Sigla | L* | a* | b* | C | h° | Cor |
|--------|-------|------------------------|---------------|--------|--------|---------------|----------------|-----|
| 10/abr | 1 | VRD | 63,956 | -7,404 | 25,946 | 26,982 | 105,927 | |
| 10/abr | 1 | VRD | 62,538 | -7,234 | 25,052 | 26,076 | 106,109 | |
| 10/abr | 1 | VRD | 65,272 | -7,060 | 25,076 | 26,051 | 105,727 | |
| 10/abr | 1 | VRD | 62,788 | -6,996 | 25,062 | 26,021 | 105,595 | |
| 10/abr | 1 | VRD | 62,958 | -7,318 | 26,600 | 27,588 | 105,385 | |
| 17/abr | 1 | VRD | 62,258 | -6,542 | 25,852 | 26,667 | 104,207 | |
| 17/abr | 1 | VRD | 64,486 | -6,222 | 26,882 | 27,593 | 103,025 | |
| 17/abr | 2 | VRS | 61,292 | -3,612 | 23,158 | 23,439 | 98,855 | |
| 17/abr | 2 | VRS | 60,982 | -4,406 | 23,254 | 23,668 | 100,728 | |
| 17/abr | 3 | VRX- | 59,156 | -0,780 | 17,758 | 17,780 | 92,471 | |
| 24/abr | 3 | VRX- | 59,378 | 0,376 | 18,304 | 18,335 | 88,850 | |
| 24/abr | 4 | VRX+ | 56,104 | 2,182 | 12,646 | 12,843 | 80,014 | |
| 24/abr | 5 | ARX- | 60,922 | 8,158 | 18,238 | 19,992 | 65,936 | |
| 24/abr | 6 | ARX+ | 53,232 | 10,294 | 10,428 | 14,667 | 45,499 | |
| 24/abr | 7 | MIX(VRX+) ¹ | 56,376 | 6,304 | 14,884 | 16,329 | 67,304 | |
| 03/mai | 8 | RXV | 50,262 | 3,722 | 10,65 | 11,319 | 70,852 | |
| 03/mai | 9 | RXA | 46,968 | 8,654 | 7,018 | 11,173 | 39,207 | |
| 03/mai | 10 | MIX(RXV) ² | 53,152 | 4,962 | 12,23 | 13,199 | 67,915 | |
| 03/mai | 11 | VP | 40,410 | 3,082 | 1,706 | 3,533 | 27,618 | |
| 03/mai | 12 | PRT | 39,464 | 0,034 | 0,486 | 0,488 | 85,748 | |
| 15/mai | 12 | PRT | 40,306 | 0,210 | 0,378 | 0,433 | 60,203 | |
| 15/mai | 12 | PRT | 40,120 | 0,238 | 0,384 | 0,456 | 55,974 | |
| 15/mai | 12 | PRT | 39,672 | 0,170 | 0,263 | 0,320 | 52,492 | |
| 15/mai | 12 | PRT | 40,340 | 0,286 | 0,828 | 0,877 | 70,466 | |
| 15/mai | 12 | PRT | 40,392 | 0,268 | 0,836 | 0,882 | 71,241 | |

Em que: L* = claridade; a* e b* = coordenadas cromáticas; C = saturação; h° = ângulo de tinta.

¹ Grupo Mix cuja coloração é mais próxima do grupo VRX+; ² Grupo Mix cuja coloração é mais próxima do RXV.

Aplicando a equação 1 (pág.26) para comparar todas as amostras entre si, foi possível determinar o maior valor de ΔE para amostras do mesmo grupo, e o menor valor de ΔE para amostras de grupos diferentes. Apesar de outros pesquisadores terem determinado os valores de variação de cor que são perceptíveis ao olho humano, conforme a Tabela 3, elaborada por Mokrzycki & Tatol (2011); para fins de classificação das sementes em um grupo de cor, neste trabalho, essa variação precisou ser superestimada, uma vez que o objeto de trabalho aqui é a coloração média de amostras de sementes cuja cor não é uniforme em seu próprio tegumento, tampouco é uniforme quando comparadas entre si.

TABELA 3 - Classificação da variação total de cor.

| Variação de cor (ΔE) | Classificação |
|--|--|
| 0,0 - 1,0 | Observador não vê diferença. |
| 1,0 - 2,0 | Apenas observadores experientes notam diferença. |
| 2,0 - 3,5 | Observador inexperiente nota diferença. |
| 3,5 - 5,0 | Clara diferença de cor é notada. |
| >5,0 | Observador percebe duas cores diferentes. |

Fonte: Colour difference ΔE - A survey, Mokrzycki W.S., Tatol M. (2011).

Baseado no que fizeram esses autores (MOKRZYCKI & TATOL, 2011), que realizaram a comparação entre os índices de variação de cor com a experiência do observador, e, baseado nos próprios índices de variação de cor entre os objetos de estudo deste trabalho, presentes nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 (tabela única dividida em três partes) abaixo; proponho a seguinte tabela, de agrupamento de sementes (TABELA 5) com base nos índices de variação colorimétrica obtidos.

Tabela 4.1 – Resultados dos cálculos de diferença total de cor das amostras.

| SIGLAS | vrđ1 | vrđ2 | vrđ3 | vrđ4 | vrđ5 | vrđ6 | vrđ7 | vrs1 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| vrđ1 | 0,000 | 1,685 | 1,615 | 1,521 | 1,196 | 1,907 | 1,598 | 5,408 |
| vrđ2 | 1,685 | 0,000 | 2,740 | 0,345 | 1,606 | 1,094 | 2,858 | 4,273 |
| vrđ3 | 1,615 | 2,740 | 0,000 | 2,485 | 2,783 | 3,155 | 2,140 | 5,604 |
| vrđ4 | 1,521 | 0,345 | 2,485 | 0,000 | 1,581 | 1,054 | 2,607 | 4,161 |
| vrđ5 | 1,196 | 1,606 | 2,783 | 1,581 | 0,000 | 1,285 | 1,901 | 5,325 |
| vrđ6 | 1,907 | 1,094 | 3,155 | 1,054 | 1,285 | 0,000 | 2,475 | 4,096 |
| vrđ7 | 1,598 | 2,858 | 2,140 | 2,607 | 1,901 | 2,475 | 0,000 | 5,557 |
| vrs1 | 5,408 | 4,273 | 5,604 | 4,161 | 5,325 | 4,096 | 5,557 | 0,000 |
| vrs2 | 5,008 | 3,695 | 5,364 | 3,638 | 4,856 | 3,597 | 5,361 | 0,858 |
| vrđ-1 | 11,574 | 10,310 | 11,419 | 10,256 | 11,635 | 10,408 | 11,886 | 6,461 |
| vrđ-2 | 11,827 | 10,651 | 11,657 | 10,566 | 11,868 | 10,636 | 11,967 | 6,567 |
| vrđ+ | 18,178 | 16,851 | 17,999 | 16,825 | 18,219 | 16,982 | 18,535 | 13,076 |
| arđ- | 17,629 | 16,910 | 17,241 | 16,724 | 17,708 | 16,609 | 17,152 | 12,762 |
| arđ+ | 25,866 | 24,651 | 25,704 | 24,585 | 25,813 | 24,552 | 25,888 | 20,503 |
| mix(vrđ+) | 19,176 | 18,018 | 19,016 | 17,933 | 19,135 | 17,886 | 19,147 | 13,819 |
| rxv | 23,351 | 21,867 | 23,445 | 21,897 | 23,183 | 21,917 | 23,763 | 18,218 |
| rxā | 30,079 | 28,637 | 30,134 | 28,649 | 29,904 | 28,626 | 30,377 | 24,822 |
| mix(rxv) | 21,396 | 20,031 | 21,365 | 20,013 | 21,294 | 20,020 | 21,638 | 16,100 |
| vp | 35,383 | 33,780 | 35,597 | 33,880 | 35,161 | 33,956 | 36,056 | 30,677 |
| prt1 | 36,781 | 35,163 | 36,998 | 35,287 | 36,588 | 35,435 | 37,595 | 32,377 |
| prt2 | 35,651 | 34,036 | 35,863 | 34,157 | 35,460 | 34,299 | 36,449 | 31,208 |
| prt3 | 35,777 | 34,160 | 35,994 | 34,281 | 35,580 | 34,419 | 36,573 | 31,333 |
| prt4 | 36,149 | 34,528 | 36,378 | 34,651 | 35,944 | 34,785 | 36,948 | 31,716 |
| prt5 | 35,324 | 33,706 | 35,546 | 33,826 | 35,123 | 33,959 | 36,114 | 30,868 |
| prt6 | 35,279 | 33,662 | 35,501 | 33,782 | 35,079 | 33,916 | 36,070 | 30,824 |

Em que: Cor azul = baixíssima diferença de cor, agrupar. Cor verde = perceptível diferença de cor, não agrupar. Cor bege = alguma similaridade de cor, não agrupar. Sem cor = nítida diferença de cor, não agrupar. Cor preta = nenhuma diferença de cor,

TABELA 4.2 - Resultados dos cálculos de diferença total de cor das amostras.

| SIGLAS | vrs2 | vrx-1 | vrx-2 | vrx+ | arx- | arx+ | mix(vrx+) | rxv |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| vrđ1 | 5,008 | 11,574 | 11,827 | 18,178 | 17,629 | 25,866 | 19,176 | 23,351 |
| vrđ2 | 3,695 | 10,310 | 10,651 | 16,851 | 16,910 | 24,651 | 18,018 | 21,867 |
| vrđ3 | 5,364 | 11,419 | 11,657 | 17,999 | 17,241 | 25,704 | 19,016 | 23,445 |
| vrđ4 | 3,638 | 10,256 | 10,566 | 16,825 | 16,724 | 24,585 | 17,933 | 21,897 |
| vrđ5 | 4,856 | 11,635 | 11,868 | 18,219 | 17,708 | 25,813 | 19,135 | 23,183 |
| vrđ6 | 3,597 | 10,408 | 10,636 | 16,982 | 16,609 | 24,552 | 17,886 | 21,917 |
| vrđ7 | 5,361 | 11,886 | 11,967 | 18,535 | 17,152 | 25,888 | 19,147 | 23,763 |
| vrs1 | 0,858 | 6,461 | 6,567 | 13,076 | 12,762 | 20,503 | 13,819 | 18,218 |
| vrs2 | 0,000 | 6,833 | 7,067 | 13,406 | 13,528 | 20,992 | 14,352 | 18,435 |
| vrx-1 | 6,833 | 0,000 | 1,298 | 6,650 | 9,123 | 14,542 | 8,135 | 12,243 |
| vrx-2 | 7,067 | 1,298 | 0,000 | 6,782 | 7,934 | 14,077 | 7,473 | 12,365 |
| vrx+ | 13,406 | 6,650 | 6,782 | 0,000 | 9,497 | 8,887 | 4,698 | 6,363 |
| arx- | 13,528 | 9,123 | 7,934 | 9,497 | 0,000 | 11,167 | 5,946 | 13,816 |
| arx+ | 20,992 | 14,542 | 14,077 | 8,887 | 11,167 | 0,000 | 6,757 | 7,215 |
| mix(vrx+) | 14,352 | 8,135 | 7,473 | 4,698 | 5,946 | 6,757 | 0,000 | 7,872 |
| rxv | 18,435 | 12,243 | 12,365 | 6,363 | 13,816 | 7,215 | 7,872 | 0,000 |
| rxv | 25,111 | 18,786 | 18,706 | 12,531 | 17,912 | 7,318 | 12,486 | 6,955 |
| mix(rxv) | 16,450 | 9,979 | 9,833 | 4,076 | 10,329 | 5,629 | 4,386 | 3,519 |
| vp | 30,718 | 24,980 | 25,350 | 19,152 | 26,829 | 17,102 | 20,951 | 13,322 |
| prt1 | 32,338 | 26,855 | 27,382 | 21,313 | 29,633 | 20,380 | 23,715 | 15,960 |
| prt2 | 31,179 | 25,659 | 26,175 | 20,099 | 28,411 | 19,229 | 22,490 | 14,730 |
| prt3 | 31,302 | 25,793 | 26,306 | 20,239 | 28,534 | 19,337 | 22,612 | 14,846 |
| prt4 | 31,681 | 26,203 | 26,718 | 20,674 | 28,957 | 19,741 | 23,031 | 15,253 |
| prt5 | 30,839 | 25,334 | 25,843 | 19,793 | 28,084 | 18,935 | 22,157 | 14,378 |
| prt6 | 30,795 | 25,289 | 25,799 | 19,749 | 28,046 | 18,905 | 22,119 | 14,341 |

Em que: Cor azul = baixíssima diferença de cor, agrupar. Cor verde = perceptível diferença de cor, não agrupar. Cor bege = alguma similaridade de cor, não agrupar. Sem cor = nítida diferença de cor, não agrupar. Cor preta = nenhuma diferença de cor, mesma amostra.

TABELA 4.3 - Resultados dos cálculos de diferença total de cor das amostras.

| rx | mix(rxv) | vp | prt1 | prt2 | prt3 | prt4 | prt5 | prt6 | SIGLAS |
|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 30,079 | 21,396 | 35,383 | 36,781 | 35,651 | 35,777 | 36,149 | 35,324 | 35,279 | vrđ1 |
| 28,637 | 20,031 | 33,780 | 35,163 | 34,036 | 34,160 | 34,528 | 33,706 | 33,662 | vrđ2 |
| 30,134 | 21,365 | 35,597 | 36,998 | 35,863 | 35,994 | 36,378 | 35,546 | 35,501 | vrđ3 |
| 28,649 | 20,013 | 33,880 | 35,287 | 34,157 | 34,281 | 34,651 | 33,826 | 33,782 | vrđ4 |
| 29,904 | 21,294 | 35,161 | 36,588 | 35,460 | 35,580 | 35,944 | 35,123 | 35,079 | vrđ5 |
| 28,626 | 20,020 | 33,956 | 35,435 | 34,299 | 34,419 | 34,785 | 33,959 | 33,916 | vrđ6 |
| 30,377 | 21,638 | 36,056 | 37,595 | 36,449 | 36,573 | 36,948 | 36,114 | 36,070 | vrđ7 |
| 24,822 | 16,100 | 30,677 | 32,377 | 31,208 | 31,333 | 31,716 | 30,868 | 30,824 | vrđ1 |
| 25,111 | 16,450 | 30,718 | 32,338 | 31,179 | 31,302 | 31,681 | 30,839 | 30,795 | vrđ2 |
| 18,786 | 9,979 | 24,980 | 26,855 | 25,659 | 25,793 | 26,203 | 25,334 | 25,289 | vrđ-1 |
| 18,706 | 9,833 | 25,350 | 27,382 | 26,175 | 26,306 | 26,718 | 25,843 | 25,799 | vrđ-2 |
| 12,531 | 4,076 | 19,152 | 21,313 | 20,099 | 20,239 | 20,674 | 19,793 | 19,749 | vrđ+ |
| 17,912 | 10,329 | 26,829 | 29,633 | 28,411 | 28,534 | 28,957 | 28,084 | 28,046 | arđ- |
| 7,318 | 5,629 | 17,102 | 20,380 | 19,229 | 19,337 | 19,741 | 18,935 | 18,905 | arđ+ |
| 12,486 | 4,386 | 20,951 | 23,715 | 22,490 | 22,612 | 23,031 | 22,157 | 22,119 | mix(vrđ+) |
| 6,955 | 3,519 | 13,322 | 15,960 | 14,730 | 14,846 | 15,253 | 14,378 | 14,341 | rxv |
| 0,000 | 8,890 | 10,113 | 13,715 | 12,640 | 12,717 | 13,071 | 12,340 | 12,320 | rx |
| 8,890 | 0,000 | 16,633 | 19,340 | 18,113 | 18,234 | 18,652 | 17,777 | 17,739 | mix(rxv) |
| 10,113 | 16,633 | 0,000 | 3,925 | 3,166 | 3,150 | 3,333 | 2,931 | 2,945 | vp |
| 13,715 | 19,340 | 3,925 | 0,000 | 1,231 | 1,123 | 0,803 | 1,611 | 1,643 | prt1 |
| 12,640 | 18,113 | 3,166 | 1,231 | 0,000 | 0,188 | 0,646 | 0,458 | 0,470 | prt2 |
| 12,717 | 18,234 | 3,150 | 1,123 | 0,188 | 0,000 | 0,469 | 0,498 | 0,528 | prt3 |
| 13,071 | 18,652 | 3,333 | 0,803 | 0,646 | 0,469 | 0,000 | 0,883 | 0,926 | prt4 |
| 12,340 | 17,777 | 2,931 | 1,611 | 0,458 | 0,498 | 0,883 | 0,000 | 0,056 | prt5 |
| 12,320 | 17,739 | 2,945 | 1,643 | 0,470 | 0,528 | 0,926 | 0,056 | 0,000 | prt6 |

Em que: Cor azul = baixíssima diferença de cor, agrupar. Cor verde = perceptível diferença de cor, não agrupar. Cor bege = alguma similaridade de cor, não agrupar. Sem cor = nítida diferença de cor, não agrupar. Cor preta = nenhuma diferença de cor.

TABELA 5 - Parâmetros utilizados para classificação de sementes de acordo com a variação de cor das amostras.

| Variação de cor (ΔE) | Descrição |
|--|---|
| 0,0 – 2,9 | As amostras podem ser classificadas no mesmo grupo. |
| 2,9 – 4,0 | As amostras são bastante similares, recomenda-se realizar novas repetições. Não agrupar caso resultado se mantenha. |
| 4,0 – 6,0 | As amostras têm alguma similaridade, mas não podem ser agrupadas. |
| >6,0 | Amostras completamente diferentes, facilmente diferenciáveis a olho nu. |

Fonte: Baseada nos cálculos de diferença total de cor das amostras, presentes na tabela 4.

5.2 TESTES DE GERMINAÇÃO

5.2.1 TESTE DE GERMINAÇÃO EM BOD.

Os resultados dos testes de germinação em câmara BOD, conduzidos conforme descrito na sessão de material e métodos, encontram-se expressos na Tabela 6 em forma de dados brutos, onde pode-se observar que alguns grupos de cor tiveram mais repetições que outros, por razão de disponibilidade de material, uma vez que o processo de maturação das sementes é bastante desuniforme. Ocorreu que, após abrir as vagens, sempre haviam mais sementes de alguns grupos em detrimento de outros. Ainda assim, cada grupo teve pelo menos duas repetições testadas, totalizando um mínimo de 100 sementes por grupo.

Ainda que a análise estatística fosse dispensada, os números claramente demonstram o comportamento do potencial germinativo das sementes de soja preta. Aparentemente, assim que ela atinge o estágio R6 o embrião já se encontra capaz de germinar, porém, conforme novos fenômenos fisiológicos ocorrem, como o degreening, a deposição de antocianinas e a perda de umidade da semente vão ocorrendo, também ocorre a diminuição da taxa de germinação das

sementes, cujo mínimo coincide com as coordenadas CIElch por volta de: $L^* \cong 53-56$; $C \cong 12-15$; e $h^\circ \cong 45-80$. (Obs.: Quanto menor o *Croma*, menos perceptível é a mudança no *Hue*.)

A taxa de germinação volta a subir a partir deste ponto, talvez porque a clorofila já se encontra quase totalmente degradada, e a mudança de cor a partir daqui depende principalmente da diminuição da umidade e do tamanho das sementes, tal como um balão, que quando desinfla se torna mais escuro; e pela deposição final de antocianinas na testa do tegumento que ocorre nas últimas etapas do amadurecimento completo.

TABELA 6 - Resultados dos testes de germinação em câmara BOD, expresso como média do percentual de sementes germinadas por grupo.

| Semana | Grupo | Nº de repetições (50 sementes cada) | Porcentagem de germinação* (%) |
|-----------------------|--------------|--|---|
| 0 | 1 (VRD) | 8 | 88,75de |
| 1 | 1 (VRD) | 5 | 93,60ef |
| 1 | 2 (VRS) | 2 | 76,00cd |
| 1 e 2 | 3 (VRX-) | 2 | 50,00b |
| 2 | 5 (ARX-) | 2 | 25,00a |
| 2 | 4 (VRX+) | 2 | 20,00a |
| 2 | 6 (ARX+) | 2 | 19,00a |
| 3 | 8 (RXV) | 2 | 48,00b |
| 3 | 9 (RXA) | 2 | 54,00b |
| 3 | 11 (VP) | 2 | 62,00bc |
| 3 | 12 (PRT) | 2 | 96,00ef |
| 4 | 12 (PRT) | 8 | 99,25f |
| Teste F | | | 83,12 |
| DMS (Tukey 5%) | | | 2,16 |
| CV (%) | | | 48,82 |

*Médias nas colunas seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem entre si ($P < 0,05$), pelo Teste de Tukey.

Na Tabela 7, com a finalidade de facilitar a discussão, os grupos de cor foram classificados em 5 fases de desenvolvimento, cujas médias do potencial germinativo dos grupos em cada fase não fossem significativamente diferentes entre si, com base no teste de significância, ou cuja diferença fosse baixa; são elas: fase de grão verde, fase de transição inicial, fase transição intermediária, fase de transição final e fase de grãos pretos. Com essa separação pode-se constatar claramente a tendência do potencial germinativo das sementes conforme ocorre a mudança de cor, o que pode ser visualizado na FIGURA 16. Essa separação ajuda ainda a correlacionar os dados dos testes de germinação em câmara com os testes de germinação em areia.

TABELA 7 - Taxa de germinação conforme as diferentes fases de desenvolvimento*

| Fase | Número de repetições | Germinação (%) |
|--------------------------------------|----------------------|----------------|
| Grão Verde ¹ | 13 | 90,62a |
| Transição Inicial ² | 4 | 63,00b |
| Transição intermediária ³ | 6 | 21,34c |
| Transição final ⁴ | 6 | 54,67b |
| Grãos Pretos ⁵ | 10 | 98,60a |

¹ Grupo VRD; ² Grupos VRS e VRX-; ³ Grupos ARX-, ARX+ e VRX+; ⁴ Grupos RXV, RXA e VP; ⁵ Grupos PRT.

* Médias nas colunas seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem entre si ($P < 0,05$), pelo Teste de Tukey.

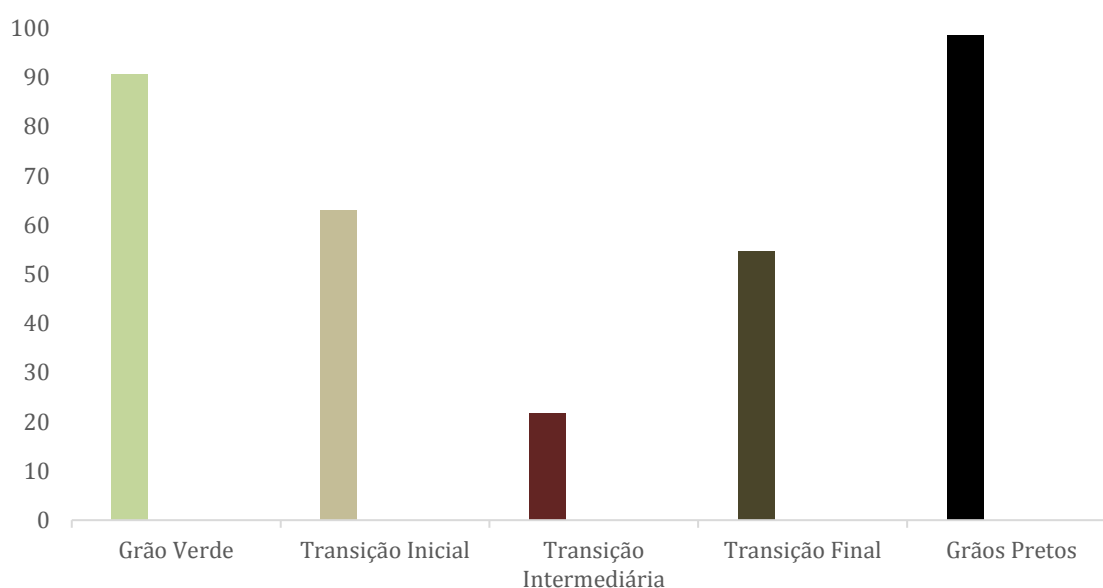


FIGURA 16 - Gráfico do percentual médio de germinação de acordo com a fase de desenvolvimento.

5.2.2 TESTES DE GERMINAÇÃO EM AREIA

Como mencionado, o propósito dos testes em areia era de confirmar se o que acontece no teste em ambiente controlado se refletia em condições de campo, por este motivo, e por indisponibilidade de material e de tempo, não foi possível seguir todas as recomendações da RAS para este tipo de teste.

Analisando os resultados, conforme tabela 7, podemos mais uma vez observar o padrão de comportamento do potencial germinativo das sementes conforme ocorre a mudança de cor; enquanto verdes, o percentual de sementes germinadas é consideravelmente alto, enquanto que nos grupos que representam fases de transição, as taxas de germinação caem para valor abaixo dos 35%, voltando a crescer e atingindo seu máximo quando as sementes estão completamente pretas a olho nu.

TABELA 8 - Resultados dos testes de germinação e emergência em areia dos diferentes grupos de cor do genótipo UnB 1125.

| Grupo | Percentual de sementes germinadas | Percentual de sementes emergidas | Percentual Perdido (germinadas – emergidas) |
|--------------|--|---|--|
| VRD | 88,89 | 62,50 | 26,39 |
| VRD | 87,50 | 75,00 | 12,50 |
| ARX | 34,72 | 33,33 | 1,39 |
| VXA | 18,06 | 11,11 | 6,95 |
| RXVA | 27,78 | 19,44 | 8,34 |
| PRT | 90,28 | 86,11 | 4,17 |
| PRT | 97,22 | 91,67 | 5,55 |

A avaliação da emergência das plântulas é um importante fator na caracterização da qualidade fisiológica das sementes, o que não é possível determinar pelo teste em câmara. Apesar dos resultados demonstrarem claramente a tendência de comportamento das plantas, este teste não foi estatisticamente significativo pelo baixíssimo número de repetições, ainda assim, serviu para tirar algumas conclusões, visto que as plântulas dos grupos PRT, na última semana, não só tiveram um percentual de emergência muito maior que os demais grupos, mas as plântulas aos 14 dias eram bem mais vigorosas, maiores e íntegras que as plântulas dos demais grupos, onde a ocorrência de plântulas anormais era bastante comum, tanto pro teste em areia quanto pro teste em câmara.

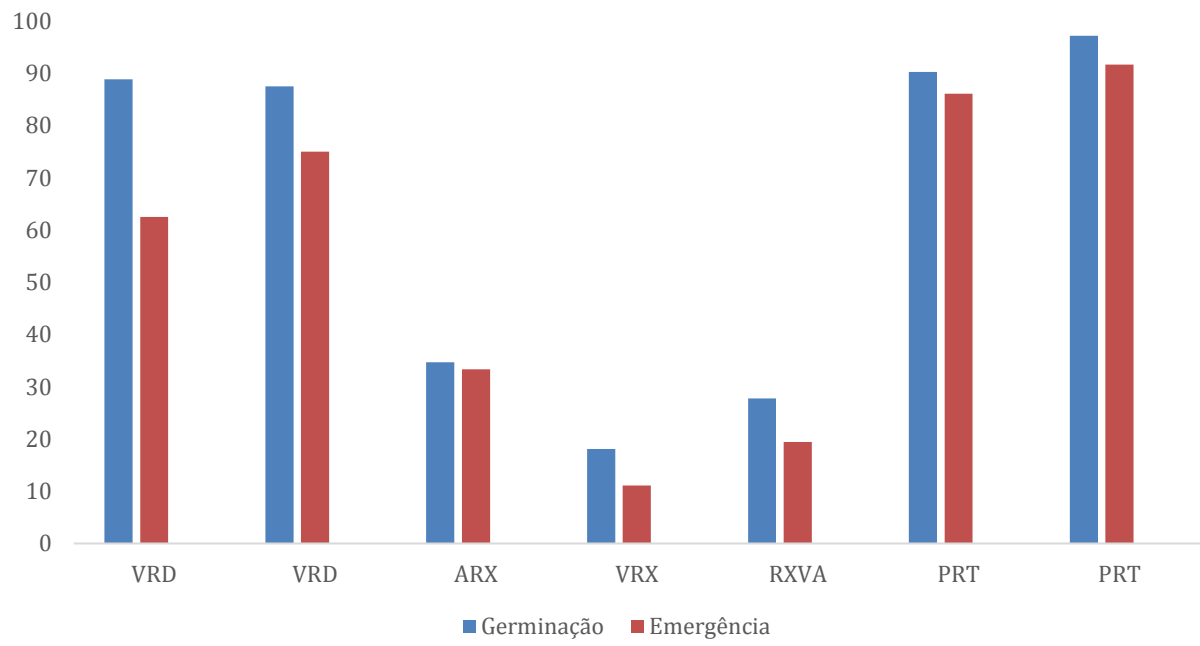


FIGURA 17 - Gráfico dos resultados de germinação e emergência em areia.

6. CONCLUSÕES

Em observância aos procedimentos realizados, e de acordo com os resultados obtidos, as conclusões que podem ser inferidas deste trabalho são:

1. Em sementes verdes e cheias, que se encontram entre os estádios R6 e R7, de Fehr & Caviness (1977), o embrião já possui capacidade germinativa (protrusão de radícula), a qual apresenta um comportamento decrescente ao iniciar a mudança de coloração nas sementes, atingindo um mínimo quando a cor é correspondente às dos grupos 4 a 5 da Tabela 2 deste trabalho; a partir desse ponto a taxa de germinação volta a subir, acompanhando o escurecimento das sementes.
2. Somente quando as sementes estão completamente pretas, a olho nu, é que se pode ter a segurança de que estão em maturidade fisiológica, pois, além da germinação ser máxima neste ponto, a emergência a campo e a normalidade das plântulas também confirmam esta conclusão.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados do presente trabalho, fazem-se as seguintes sugestões:

- a) Ao se analisar sementes em processo de mudança de cor, certificar-se de coletar material suficiente para todas as etapas do estudo, garantindo que haja sementes em quantidade suficiente para que todos os grupos de cor tenham o mesmo número de repetições em todos os testes.
- b) Estudar melhor as mudanças fisiológicas que ocorrem nas fases transição de cor da semente, de preferência focando em analisar a composição centesimal da epiderme da testa do tegumento quanto aos compostos pigmentantes em cada uma das etapas ou grupos de cor, e verificar a influência desses compostos e outros possíveis metabólitos presentes com o potencial germinativo.
- c) Analisar diretamente o teor de clorofila das sementes em diferentes estágios de maturação e relacioná-lo com o potencial germinativo.
- d) Realizar os estudos propostos por Estela Reis de Andrade (2012) em suas considerações finais, para esta linhagem.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLIPRANDINI, L. F.; TOLEDO, J. F. F.; FONSECA, J. R. N. S.; KIIHL, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. **Ganho Genético em Soja no Estado do Paraná, via Melhoramento no período de 1985/86 a 1989/90**. Brasília: EMBRAPA, v.28, n.4, p. 487-49, 1993.

ALMEIDA, D. **Fisiologia das alterações de cor - Percepção e medição da cor**. Aulas de fisiologia pós-colheita, 2004, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Disponível em: <http://dalmeida.com/poscolheita/Cor1.pdf>. Acesso em 10 de Novembro de 2018.

ANDRADE, E. R. **Caracterização e comparação da linhagem de soja UnB 1125 de tegumento preto com genótipos comerciais**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012. Monografia. Orientada por Dr.Everaldo Pereira.

BEWLEY, J. D. **Seed Germination and Dormancy**. The Plant Cell, Vol. 9, 1055-1 066, July 1997 O 1997 American Society of Plant Physiologists.

BRADFORD, K. J. **A Water Relations Analysis of Seed Germination Rates**. Plant physiology, 1990. 94. 840-9. 10.1104/pp.94.2.840.

BRASIL: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

CÂMARA, G.M.S. **Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção**. Revista Visão Agrícola, 2006. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-planta-e-ambiente01.pdf>. Acesso em 04 de novembro de 2018

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio soja**. Texto básico relativo às disciplinas LPV 0584: Cana-de-açúcar e soja (obrigatória) e LPV-0506: Plantas Oleaginosas (eletiva), do curso de graduação em Engenharia Agrônômica da USP/ESALQ. Fevereiro de 2016. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/LPV%200506%20-%20Soja%20Texto%2001%20-%20%20Agronegocio.pdf>. Acesso em 04 de novembro de 2018.

CARRÃO-PANIZZI, M. C. **Saudável, consumo direto da soja cresce entre os brasileiros**. Revista Visão Agrícola n.5, 2006.

CARRÃO-PANIZZI, M. C. **Soja hortaliça, uma opção além da “commodity”**. Texto apresentado no 6º Simpósio de Segurança Alimentar, FAURGS - Gramado, RS. Maio de 2018.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; SILVA, J. B. da S., (2011). **Soja na alimentação humana: qualidade na produção de grãos com valor agregado**. CONGRESO DE LA SOJA DEL MERCOSUR - MERCOSOJA, 5., 2011, Rosário. Resumos... Rosário: Asociación de la Cadena de la Soja Argentina, 2011. p. 1-3.

CENKOWSKI, S.; SOKHANSANJ, S.; SOSULSKI, F.W. (1989), **Effect of harvest date and swathing on moisture content and chlorophyll content of canola seed**. Canadian Journal of Plant Science, 1989, 69:925-928. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/cjps89-111>. Acesso em 04 de novembro de 2018.

CHUNG, G. & SINGH, R. (2008). **Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach**. Critical Reviews in Plant Sciences - CRIT REV PLANT SCI. 27. 295-341.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 5 - Safra 2017/18, n.12 - Décimo segundo levantamento, setembro 2018. Pag. 108. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 16 de Novembro de 2018.

CONCEIÇÃO, O., **A expansão da soja no RS, 1950-1975**. In: Ensaio FEE. Porto Alegre, 1986.

DALL'AGNOL, A. **A Soja no Brasil: Evolução, causas, impactos e perspectivas**. Quinto Congresso de Soja do Mercosul, Mercosoja. 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47515/1/amelio soja.2011.pdf>. Acesso em 16 de Novembro de 2018.

DRANSKI, J.A.L.; PINTO JÚNIOR, A.S.; STEINER, F.; ZOZ, T.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; GUIMARÃES, V.F. **Physiological maturity of seeds and colorimetry of fruits of *Jatropha curcas* L**. Revista Brasileira de Sementes, v.32, n.4, p.158-165, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222010000400018. Acesso em 11 de novembro de 2018.

ESTEVES, T. C. F.; FARIA-MACHADO, A. F.; FELBERG, I.; ANTONIASSI, R.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; CALADO, V. M. A.; PEREIRA, J. N. **Atividade antirradical livre de compostos bioativos de soja preta (*Glycine max* L. Merrill)**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, p. 4490-4495, 2015. ISSN 2359-1757.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report 80). Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1076&context=specialreports>. Acesso em 04 de novembro de 2018.

FERREIRA, F. M. **A importância da soja e seus derivados para a economia brasileira a partir da década de 1970**. Três Rios, Rio de Janeiro. Monografia. Bacharelado em Ciências Econômicas, UFRRJ, 2011.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. **Colorimetria - Princípios e aplicações na agricultura**. Embrapa Instrumentação (CNPDIA), 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170416/1/Parte-4-cap-1-Colorimetria-...pdf>. Acesso em 16 de Novembro de 2018.

FREITAS, M. C. M. **A cultura da soja no brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**, ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.12, 2011. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf>. Acesso em 04 de novembro de 2018.

FURLANETO, F.de P. B.; RECO, P. C.; KANTHACK, R. A. D.; ESPERANCINI, M. S. T.; OJIMA, A. L. R. de O. **Soja transgênica versus convencional: estimativa dos custos operacionais de produção na região do Médio Paranapanema**, Estado de São Paulo. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 32, p. 1935-1940, 2008.

GRIEBELER, C. G. de O., **Colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden modificada termicamente**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 2013.

GRIGOLLI, J. F. J., **Manejo de Doenças na Cultura da Soja**. 2015. Disponível em: <http://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/216/216/newarchive-216.pdf>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

GRIS, C. F.; ANDRADE, T.; VON PINHO, E. V. de R.; CARVALHO, M. L. M. de., **Qualidade fisiológica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênica RR submetidas a diferentes épocas de colheita.** Ciênc. agrotec., Lavras, v.34, n. 2, p. 374-381, Abril 2010.

HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a soybean plant develops** Special Report n.62. 1967. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/specialreports/62/>. Acesso em 16 de novembro de 2018.

HUNTERLAB. **Measuring color using Hunter L, a, b versus CIE 1976 L*a*b*.** AN 1005.00, 2012. Disponível em: https://support.hunterlab.com/hc/en-us/article_attachments/201450469/an-1005b.pdf. Acesso em 13 de dezembro de 2018.

HUTH, C. **Lignina no tegumento de semente de soja: deterioração por umidade e dano mecânico e tamanho de amostra para o teste de tetrazólio.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFSM. Santa Maria, Fevereiro de 2015.

JALINK, H.; FRANDAS, A.; SCHOOR, R. van der; BINO, J.B. **Chlorophyll fluorescence of the testa of Brassica oleracea seeds as an indicator of seed maturity and seed quality.** Sci. agric. [online]. 1998, vol.55, n.spe [cited 2018-11-04], pp.88-93. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161998000500016&lng=en&nrm=iso. Acesso em 04 de novembro de 2018.

KAISER, D. K.; MALAVASI, M. de M.; MALAVASI, U. C.; DRANSKI, J. A. L.; FREITAS, L. C. N. de; KOSMANN, C. R.; ANDRIOLI, K. K. **Physiological maturity of seeds and colorimetry of the fruits of *Allophylus edulis* [(A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.].** Journal of Seed Science, 38(2), 92-100. Epub June 07, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v38n2154590>

KONICA MINOLTA., **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. 2013. Texto na internet. Disponível em: <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/> Acesso em 16 de novembro de 2018.

LIMA, V. L. A. G. de; MELO, E. de A.; GUERRA, N. B. **Correlação entre o Teor de Antocianinase Caracterização Cromática de Polpas de Diferentes Genótipos de Aceroleira**. Brazilian Journal Food Technology, Campinas, v. 10, n. 1, p. 51-55, jan./mar. 2007

MAGALHÃES, M.D.; MACIEL, A.D.; ORSOLIN, P.C. **Efeito anticarcinogênico dos flavonoides do tipo antocianina presentes em amora-preta (Rubus spp.), identificado por meio do teste para detecção de clones de tumores epiteliais (wts) em Drosophila melanogaster**. Revista de Medicina e Saúde de Brasília v. 6, n. 1 (2017).

MARCANDALLI, L. H.; LAZARINI, E.; MALASPINA, I. G. **Épocas de aplicação de dessecantes na cultura da soja: Qualidade fisiológica de sementes**. R. Bras. Sementes, v. 33, n. 2, p. 241-250, 2011.

MARCOS FILHO, J. **Maturidade fisiológica de sementes de soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 15, n.4, p. 447-460, 1980. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/16620>. Acesso em 04 de novembro de 2018,

MCGUIRE, R. G. **Reporting of objective color measurements**. HortScience, v. 27, n. 12, p. 1254-1555, 1992.

MENEGATTI, A. L. A.; BARROS, A. L. M. **Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul**. RER, Rio de Janeiro, vol. 45, nº 01, p. 163-183, jan/mar 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/resr/v45n1/08.pdf>. Acesso em 16 de novembro de 2018.

MERTZ, L.M.; HENNING, G.A.; CRUZ, H.L.; MENEGHELLO, G.E.; FERRARI, C.S.; ZIMMER, P.D. **Diferenças estruturais entre tegumentos de sementes de soja com permeabilidade contrastante**. Rev. bras. Sementes, Londrina, v. 31, n. 1, p. 23-29, 2009. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222009000100003&lng=en&nrm=iso. Acesso em 03 de novembro de 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Registro Nacional de Cultivares - RNC**. CultivarWeb; pesquisa por Soja, *Glycine Max* (L.) Merr. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em 03 de novembro de 2018.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **VBP – Valor bruto da produção agropecuária**. Brasil. Setembro de 2018. Disponível em: http://www.fazenda.gov.br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2018/vbp-setembro_2018.pdf. Acesso em 11 de dezembro de 2018.

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. **Color difference Delta E - A survey**. Machine Graphics and Vision, p.20. 383-411. 2011.

MOREIRA, H. J. C.; ARAGÃO, F. D. **Manual de Pragas da Soja**. Campinas: FMC Agricultural Products, 2009. 144p. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20\(1\).pdf](https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20(1).pdf). Acesso em 01 de novembro de 2018.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Evangraf, 2005. 30 p.

POPINIGIS, F., **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p. Disponível em: <http://www.popinigis.net/docs/Fisiologia%20Sementes%20Popinigis.pdf>. Acesso em 05 de novembro de 2018.

PUC-RIO. **Fundamentos da colorimetria**. Certificação Digital Nº 0421327/CA. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9324/9324_3.PDF. Acesso em 11 de novembro de 2018.

REZENDE, D. F. de. **Estudo comparativo de características físico-químicas e nutricionais da soja preta e amarela**. Dissertação (Mestrado em Bromatologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/D.9.2012.tde-08032013-151843.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a soybean plant develops**. Ames, Iowa: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension, 1982. 20 p. (Special Report, n. 53).

RITCHIE, S. (1985) **How a soybean plant develops**. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. (Special Report, n. 53; Revised July 1985). Disponível em <http://publications.iowa.gov/14855/1/1985%20How%20a%20Soybean%20Plant%20Develops.pdf>. Acesso em 05 de novembro de 2018.

SINNECKER, P. **Degradação da clorofila durante a maturação e secagem de sementes de soja**. 2002. Tese (Doutorado em Bromatologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, University of São Paulo, São Paulo, 2002. doi:10.11606/T.9.2002.tde-12032007-135926.

STECKEL, J. R.A.; GRAY, D. & ROWSE, H.R. **Relationships between indices of seed maturity and carrot seed quality**. *Annals of Applied Biology*, Cambridge, v.114, n.1, p.177-183, 1989.

TODD, J. J., & VODKIN, L. O. **Pigmented soybean (*Glycine max*) seed coats accumulate proanthocyanidins during development**. *Plant Physiology*, 102(2), p.663-670, 1993.

TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja: aspectos físicos, fisiológicos e bioquímicos**. 2013. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. doi:10.11606/T.11.2013.tde-26042013-164651.

VEIGA, A.D.; ROSA, S.D.V.F.; SILVA, P.A., OLIVEIRA, J.A.; ALVIM, P.O., DINIZ, K.A. **Tolerância de sementes de soja à dessecação**. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.3, 2007.

WESZ JUNIOR, V. J.; BUENO, V. N. **A produção de soja em pequenas propriedades familiares na Região das Missões/RS**. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, Rio Branco/AC. Anais, 2008.

ZHANG, R. F.; ZHANG, F. X.; ZHANG, M. W.; WEI, Z. C.; YANG, C. Y.; ZHANG, Y.; TANG, X. J.; DENG, Y. Y.; CHI, J. W. **Phenolic composition and antioxidant activity in seed coats of 60 chinese black soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties**. *J. Agric. Food Chem.* v. 59, p. 5935- 5944, 2011.