



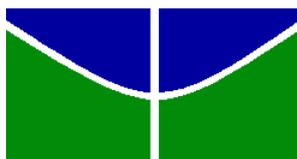
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**CAUSA DE DANO NA CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA**

MARIANA LAYSE ARAÚJO BARRETO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA, DF
JULHO/2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CAUSA DE DANO NA CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA**

MARIANA LAYSE ARAÚJO BARRETO

ORIENTADOR: PROF. PhD. RICARDO CARMONA
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO FAGIOLI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 077/DISSERTAÇÃO/2014

BRASÍLIA, DF
JULHO/2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CAUSA DE DANO NA CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA**

MARIANA LAYSE ARAÚJO BARRETO

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

APROVADO POR:

Ricardo Carmona
Professor, PhD. Universidade de Brasília – UnB / rcarmona@unb.br
CPF: 183.492.181-34
Orientador

Nara Oliveira Silva Souza
Professora, Dra. Universidade de Brasília - UnB / narasouza@unb.br
CPF: 033.300.726-36
Examinador Interno

Hugo Dias da Costa Villas Boas
Dr. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa / hvillasboas@terra.com.br
CPF: 279.532.039-87
Examinador Externo

Brasília, 31 de julho de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Barreto, Mariana Layse Araújo.
Causa de dano na correlação entre condutividade elétrica e qualidade fisiológica de sementes de soja / Mariana Barreto; Orientação de Ricardo Carmona. – Brasília, 2014.

71 f. : il

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2014.

1. *Glycine max* (L.) merrill 2. Qualidade Fisiológica de Sementes 3. Condutividade Elétrica

I. Carmona, R. II. Causa de dano na correlação entre a condutividade elétrica e a qualidade fisiológica de sementes de soja.

CDD ou CDU

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARRETO, M.L.A. **Causa de dano na correlação entre condutividade elétrica e qualidade fisiológica de sementes de soja.** 2014. 71f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mariana Layse Araújo Barreto

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Causa de dano na correlação entre condutividade elétrica e qualidade fisiológica de sementes de soja.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias dessa dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Nome: Mariana Layse Araújo Barreto

CPF: 020.288.391-47

Endereço: SQS 403, Bloco B , aptº 105

Telefone: (61) 8478-4946

Email: marianalayse@gmail.com

A Deus, a quem devo tudo,
por estar sempre comigo me dando a força,
a paz e o discernimento de que necessito.

Aos meus queridos pais, Ivã e Magaly,
por serem meu alicerce e maiores incentivadores.

Ao meu noivo Kadu,
por todo amor e apoio incondicional.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais, Ivã e Magaly, pelo amor incondicional, apoio e incentivo no decorrer de todo o período de mestrado, sempre auxiliando no que era possível e me estimulando a dar o melhor de mim.

Às minhas amadas irmãs, Ivana e Alícia, pelo companheirismo em cada passo de estudo e esforço.

Ao meu amado o noivo, Carlos Eduardo, pelo carinho, atenção, paciência e grande apoio e incentivo nos momentos decisivos.

Aos meus orientadores Ricardo Carmona e Marcelo Fagioli, pelo auxílio, incentivo e conhecimentos compartilhados durante o desenvolvimento deste trabalho, além da grande compreensão em momentos difíceis.

À Universidade de Brasília, pela cessão do espaço do Laboratório de Análise de Sementes e Fazenda Água Limpa para realização dos experimentos e pelo auxílio técnico conferido.

À professora Nara Souza e ao pesquisador Hugo Villas Boas, pela disposição e disponibilidade de participar da banca examinadora.

Ao estatístico Juaci, por me auxiliar com as análises estatísticas com tanta boa vontade e disposição.

Aos meus queridos colegas da ABRASEM, José Américo, Paulo e Vanessa, pelo incentivo e apoio durante esses dois anos e por permitirem que fosse possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos do Movimento Escalada de Brasília, em especial os amigos do Grupo Israel, pelas orações e indispensáveis mensagens de incentivo.

À colega de Mestrado e amiga, Raíssa, pelo companheirismo e disposição em ajudar sempre.

RESUMO

A tecnologia de sementes, diante do aumento da demanda por sementes de alta qualidade, tem procurado aprimorar os testes rápidos de vigor com o objetivo de tornar os resultados obtidos expressão real da qualidade fisiológica de um lote de sementes. A semente de soja, devido às suas características estruturais e morfológicas, é bastante suscetível à ocorrência de diversos tipos de danos, principalmente durante os processos de colheita e beneficiamento, em sua maioria danos mecânicos ou danos por exposição a condições de alta umidade e de temperatura. O teste de condutividade elétrica é um meio rápido e prático de determinar o vigor de sementes de soja, podendo ser conduzido facilmente na maioria dos laboratórios de análise de sementes. Entretanto, alguns fatores podem afetar a interpretação dos resultados do teste, entre eles estaria a causa da deterioração das sementes, que pode resultar em valores de condutividade elétrica diferenciados. Assim, o presente trabalho teve como objetivo correlacionar a condutividade elétrica com a viabilidade e o vigor de sementes de soja com dano por envelhecimento artificial (EA) e dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e sobre o eixo embrionário (DME). Para tanto, foram obtidos dez diferentes lotes de sementes: sementes sem dano (testemunha), sementes envelhecidas artificialmente em estufa a 41°C e condições de alta umidade por períodos de 36, 60 e 72 horas; sementes danificadas mecanicamente com impacto sobre o cotilédone com forças de 0,2695J, 0,3185 J e 0,3552 J, e sementes danificadas mecanicamente com impacto sobre o eixo embrionário com forças de 0,2695J, 0,3185 J e 0,3552 J. As sementes dos diferentes lotes foram submetidas a oito testes de avaliação da qualidade fisiológica: germinação em papel (TPGP) e em areia (TPGA), teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade (TZVB) e do vigor (TZVG), emergência em campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de plântulas (CPL) e condutividade elétrica (CE), sendo este último considerado a variável explicativa com que todos os demais testes foram correlacionados por meio de regressões lineares. Foram obtidas para cada modelo de correlação três retas, sendo uma para cada causa de dano (EA, DMC e DME). A partir dos modelos de correlação CE x TPGP, CE x TPGA e CE x TZVB foi possível obter um modelo condensado de correlação entre viabilidade e condutividade elétrica, enquanto a partir dos modelos de correlação entre CE x TZVG e CE x EC, foi obtido um modelo condensado de correlação entre o vigor e condutividade elétrica. Foi realizado estudo de comparação entre as equações obtidas para cada causa de dano nos modelos de correlação entre condutividade elétrica e a viabilidade e vigor. O estudo permitiu concluir que diferentes causas de deterioração em sementes de soja, por exposição a condições de excesso umidade e alta temperatura ou por danificação mecânicas, interferem na interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica, tanto para avaliação da viabilidade como para avaliação do vigor. Entretanto, para a cultivar estudada, o local de ocorrência do impacto no momento da causa de dano mecânico, sobre o cotilédone ou sobre o eixo embrionário, não apresentou diferença significativa quanto à interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor em sementes não partidas. A viabilidade de sementes de soja com dano por EA, DMC e DME, pode ser determinada a partir de valores de condutividade elétrica por meio das equações: $VB = - 1,0684CE + 159,91$; $VB = - 0,357CE + 117,605$ e $VB = - 0,447CE + 122,444$, respectivamente; onde VB representa a viabilidade (%) e CE representa a condutividade elétrica ($\mu S \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$). O vigor de sementes de soja com dano provocado por envelhecimento artificial e por dano mecânico pode ser determinado a partir de valores de condutividade elétrica por meio das equações: $VG = - 1,496CE + 180,431$ e $VG = - 0,579CE + 123,913$, respectivamente; onde VG representa o vigor (%) e CE representa a condutividade elétrica $mS \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) merrill, qualidade fisiológica de sementes, condutividade elétrica.

ABSTRACT

Seed technology, facing the increasing demand for high quality seeds has sought to improve the rapid tests in order to make the results a real expression of the physiological quality of a seed lot. Soybean seeds due to their structural and morphological characteristics, is quite susceptible to the occurrence of many types of damage, especially during the process of harvesting, mainly mechanical damage or damage due to the excessive exposure to high humidity and temperature. The electrical conductivity test is a quick and handy way to determine the soybean seeds vigour, and can be carried easily in most seed testing laboratories. However, some factors may affect the interpretation of the test results, among them there would be the cause of seed deterioration, which may result in different values of conductivity. Thus, the present study aimed to correlate the electrical conductivity with the viability and vigour of soybean seeds with damage by artificial aging (EA) and mechanical damage over the cotyledon (DMC) and mechanical damage over the embryonic axis (DME). For this purpose, we obtained ten different seed lots: seeds without injury (control), artificially aged seeds in an incubator at 41 °C and high humidity for periods of 36, 60 and 72 hours; mechanically damaged seeds impacted over the cotyledon with strengths of 0.2695J, 0.3185J and 0.3552J, and mechanically damaged seeds impacted over the embryonic axis with strengths of 0.2695J, 0.3185J and 0.3552J. The seeds of the different lots were submitted to eight physiological quality tests: germination on paper (TPGP) and on sand (TPGA), tetrazolium test for viability assessment (TZVB) and for vigor (TZVG), emergency field (EC), emergence rate index (IVE), germination speed index (IVG), seedling length (CPL) and electrical conductivity (EC), the latter considered as an explanatory variable with whom all other tests were being correlated by means of linear regression. They were obtained for each correlation model three lines, one for each cause of damage (EA, DMC and DME). From the correlation models TPGP x CE, TPGA x CE and TZVB x CE was possible to obtain a condensed model of correlation between viability and electrical conductivity, while it was obtained a condensate model correlation between vigour and electrical conductivity from the correlation models between TZVG x CE and EC x CE. A study was conducted to compare the equations for each case of damage in the models of correlation between electrical conductivity and the viability and the vigor. The study concluded that different causes of deterioration in soybean seeds, by exposure to excessive moisture conditions and high temperature or by mechanical damage, interfere in the interpretation of the results of the electrical conductivity test, for both viability and vigour evaluation. However, for the variety studied, the location of the impact of mechanical damage, over the cotyledons or over the embryonic axis, may not differ to the interpretation of the results of the electrical conductivity test for vigour in not broken seeds. The viability of soybean seeds with damage by EA, DMC and DME can be determined from values of electrical conductivity through the equations: $VB = -1,0684CE + 159,91$; $VB = -0,357CE + 117,605$ e $VB = -0,447CE + 122,444$, respectively; where VB is the viability (%), and CE is the electric conductivity ($mS\ cm^{-1}\ g^{-1}$). The vigour of soybean seeds with damage caused by artificial aging and mechanical damage can be determined from values of electrical conductivity through the equations: $VG = -1,496CE + 180,431$ e $VG = -0,579CE + 123,913$, respectively; where VG is the vigour (%) and EC is the electrical conductivity ($mS\ cm^{-1}\ g^{-1}$).

Key words: *Glycine max* (L.) merrill, physiological seed quality, electric conductivity.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Relação entre viabilidade e vigor em função do tempo.	19
Figura 2. Sequência proposta de modificações no desempenho das sementes no processo de deterioração.	21
Figura 3 – Croqui do pêndulo, visão lateral (martelo) e superior (disco metálico).	38
Figura 4 - Correlação entre germinação em papel (G) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	50
Figura 5 – Correlação entre germinação em areia (G) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	51
Figura 6 – Correlação entre viabilidade em tetrazólio (TZVB) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	52
Figura 7 – Correlação entre Vigor em tetrazólio (TZVG) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	53
Figura 8 – Correlação entre emergência em campo (EC) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	54
Figura 9 – Correlação entre o índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	55
Figura 10 – Correlação entre o índice de velocidade de germinação (IVG) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	55
Figura 11 – Correlação entre o comprimento de plântulas (CPL) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).	56

Figura 12 – Correlação entre a viabilidade (VB) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME). 58

Figura 13 – Correlação entre a Vigor (VG) e Condutividade Elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME). 59

Figura 14 – Correlação entre a Vigor (VG) e Condutividade Elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA) e dano mecânico (DM). 61

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Valores do teor de água e da germinação em papel, realizados em sementes de soja submetidas a períodos de 24, 36, 48, 60, 72, 84 e 96 horas de envelhecimento artificial em estufa a 41°C em caixas plásticas contendo água destilada, e visualização de fungos sobre a camada de sementes.	43
Tabela 2. Valores percentuais de teor de água, dano mecânico pelo teste de hipoclorito 5% e sementes partidas pelo impacto do pêndulo, realizados em sementes de soja submetidas a tratamentos com diferentes níveis de envelhecimento artificial e diferentes forças de impacto mecânico provocado sobre o cotilédono ou sobre eixo embrionário.	45
Tabela 3. Valores percentuais de dano por umidade, dano mecânico e dano por percevejo, obtidos por meio de teste de tetrazólio realizado em sementes de soja submetidas a tratamentos com diferentes níveis de envelhecimento artificial e diferentes forças de impacto mecânico provocado sobre o cotilédono ou sobre eixo embrionário.	48
Tabela 4. Coeficientes de correlação simples (R) entre a condutividade elétrica (CE) e os demais testes de qualidade fisiológica: germinação em papel (TPGP), em areia (TPGA), viabilidade em tetrazólio (TZVB) e vigor em tetrazólio (TZVG), emergência em campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), índice de velocidade de germinação (IVG) e comprimento de plântulas (CPL); para as diferentes causas de danos em sementes de soja: envelhecimento artificial, dano mecânico sobre o cotilédono e dano mecânico sobre o eixo embrionário.	49

LISTA DE ABREVIATURAS

- AOSA** - Association of Official Seed Analysts;
CE – Condutividade Elétrica;
CPL – Comprimento de Plântulas;
DMC – Dano Mecânico sobre o Cotilédono;
DME – Dano Mecânico sobre o Eixo Embrionário;
EA – Envelhecimento Artificial;
EC – Emergência em Campo;
ISTA - International Seed Testing Association;
IVE- Índice de Velocidade de Emergência;
IVG – Índice de Velocidade de Germinação;
TA – Teor de Água;
TDM – Teste de Dano Mecânico;
TPGA – Teste Padrão de Germinação em Areia;
TPGP – Teste Padrão de Germinação em Papel;
TZVB – Teste de Tetrazólio para avaliação de Viabilidade;
TZVG - Teste de Tetrazólio para avaliação de Vigor;
VB – Viabilidade;
VG – Vigor.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo geral	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. A importância das sementes de soja.....	17
2.2. Qualidade fisiológica de sementes.....	18
2.2.1. Deterioração em sementes	20
2.2.2. Danos mecânicos em sementes	23
2.3. Testes de vigor em sementes	24
2.4. Teste de condutividade elétrica de embebição de sementes	26
2.4.1. Membranas celulares	28
2.4.2. Caracterização dos lixiviados	30
2.4.3. Interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica	31
2.4.4. Correlação entre condutividade elétrica e vigor de sementes.....	32
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1. Sementes utilizadas	34
3.2. Qualidade inicial das sementes	34
3.2.1. Teste padrão de germinação, em papel	35
3.2.2. Teste de dano mecânico	35
3.2.3. Determinação do teor de água da semente	35
3.3. Seleção dos níveis de envelhecimento artificial	35

3.4. Obtenção dos lotes com três níveis de deterioração por envelhecimento artificial.....	36
3.5. Obtenção dos lotes com dano mecânico.....	36
3.6. Confirmação da ocorrência de danos	38
3.7. Avaliação da qualidade fisiológica (germinação e vigor)	39
3.7.1. Teste padrão de germinação, em papel e em areia	39
3.7.2. Comprimento de plântulas	39
3.7.3. Índice de velocidade de germinação	39
3.7.4. Teste de tetrazólio.....	40
3.7.5. Emergência em campo	41
3.7.6. Índice de velocidade de emergência	41
3.8. Teste de condutividade elétrica.....	41
3.9. Análise Estatística	42
4. RESULTADOS e DISCUSSÃO	42
4.1. Seleção dos níveis de envelhecimento artificial	42
4.2. Confirmação da ocorrência de dano mecânico e dano por envelhecimento nos diferentes lotes obtidos.....	44
4.3. Correlação entre condutividade elétrica e qualidade fisiológica	48
5. CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por sementes de alta qualidade tem levado as empresas do setor a procurarem o aprimoramento técnico de suas atividades, visando, basicamente, o aumento de produtividade associado a um incremento da qualidade do produto: a semente. Assim, a tecnologia de sementes, como um componente do processo de produção, tem procurado aprimorar a avaliação da qualidade de sementes com o objetivo de tornar os resultados obtidos expressão real da qualidade fisiológica de um determinado lote de sementes.

A semente de soja, devido às suas características estruturais e morfológicas, é bastante suscetível à ocorrência de diversos tipos de danos, principalmente durante os processos de colheita e beneficiamento. Isso se deve, por seu eixo embrionário estar situado sob tegumento pouco espesso, que praticamente não oferece proteção. A suscetibilidade do tegumento da semente ao dano mecânico se constitui num caráter importante para a definição da qualidade de sementes de soja, estando intimamente relacionado com a constituição genética da semente. Sabe-se também que a colheita tardia ou o excesso de umidade em períodos de pré-colheita, assim como o armazenamento prolongado das sementes são causas importantes de deterioração e conseqüentemente perda de vigor em sementes de soja.

Por outro lado, o controle de qualidade de sementes de soja está cada vez mais eficiente e dinâmico, principalmente em função da competitividade do mercado, tornando crescentes os investimentos nessa área. Nesse contexto, avaliações rápidas que permitam a obtenção de informações sobre a qualidade fisiológica das sementes são muito importantes para as decisões a serem tomadas nas diferentes etapas da produção.

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes, por meio de determinações que demandam um período de tempo relativamente curto são as relacionadas com os processos fisiológicos como, por exemplo, a integridade das membranas celulares. Essa determinação se baseia na permeabilidade das membranas, avaliando parâmetros relacionados à liberação de metabólitos durante o processo de embebição das sementes, como a condutividade elétrica da solução. A integridade das membranas celulares, variável em função do grau de alterações bioquímicas e deteriorativas e/ou danos físicos, pode ser considerada como fundamental causa de alterações do nível de vigor de uma semente, o qual pode ser indiretamente avaliado usando-se de determinações de condutividade elétrica na solução de embebição de sementes.

O teste de condutividade elétrica é um meio rápido e prático de determinar o vigor de sementes, podendo ser conduzido facilmente na maioria dos laboratórios de análise de

sementes, sem maiores despesas em equipamento e treinamento de pessoal. Entretanto, alguns fatores podem afetar a interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica, entre eles estariam as duas principais causas de deterioração em sementes de soja – danos mecânicos ou danos por excesso de umidade e de temperatura, que podem ser simulados por impacto de pêndulo com força regulada e por processo de envelhecimento acelerado, respectivamente. Assim, torna-se importante a realização de um estudo de correlação entre os valores de condutividade elétrica e a viabilidade e o vigor de sementes de soja em ambas as condições de dano.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo correlacionar a condutividade elétrica com a viabilidade e o vigor de sementes de soja com diferentes causas de dano: dano por envelhecimento artificial, ou por excesso de umidade e temperatura, e dano mecânico sobre o cotilédone e sobre o eixo embrionário.

1.1. Objetivo Geral

Correlacionar a condutividade elétrica da solução de embebição com a qualidade fisiológica de sementes de soja danificadas por envelhecimento artificial e por dano mecânico sobre o cotilédone e dano mecânico sobre o eixo embrionário.

1.2. Objetivos Específicos

a) Obter análise de regressão para correlação entre a condutividade elétrica e cada um dos testes de viabilidade e vigor;

b) Realizar ajuste de modelos para análise de regressão entre viabilidade de sementes de soja e condutividade elétrica da solução de embebição proveniente do teste de condutividade elétrica, obtendo-se assim equações para determinação da viabilidade a partir da condutividade elétrica em cada uma das causas de deterioração;

c) Realizar ajuste de modelos para análise de regressão entre vigor de sementes de soja e condutividade elétrica da solução de embebição proveniente do teste de condutividade elétrica, obtendo-se assim equações para determinação do vigor a partir da condutividade elétrica em cada uma das causas de deterioração;

d) Comparar os modelos obtidos para as diferentes causas de deterioração nas correlações entre viabilidade e condutividade elétrica, e vigor e condutividade elétrica, a fim de verificar se a causa do dano interfere nas interpretações do teste de condutividade elétrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A importância das sementes de soja

O crescimento em área cultivada, o avanço sobre novas regiões agrícolas, principalmente o Cerrado, e os constantes aumentos em produtividade foram fundamentais para o Brasil se tornar um dos principais produtores mundiais de grãos. A semente teve papel preponderante na construção deste cenário. A soja passou a ser, nos últimos anos, o produto de maior área plantada graças ao tripé: tecnologia, produção e mercado (CARRARO, 2006).

Nos dias atuais, a soja é considerada um dos principais produtos de exportação do Brasil e uma das principais *commodities* do mundo. A sua proteína é grandemente utilizada na alimentação animal e seu óleo na alimentação humana. Acrescenta-se a isto o fato de que cresce aceleradamente a sua participação na alimentação humana e na obtenção de outros produtos como adubos, revestimentos, papel, tintas e até combustível (EMBRAPA TRIGO, 2004).

Dados de pesquisa comprovam que lavouras de soja originadas com sementes de elevada qualidade propiciam produtividades superiores. França Neto e Henning (1984) e Kolchinski et al. (2005) observaram que o uso de sementes de alto vigor proporciona acréscimos de 20% a 35% no rendimento de grãos, em relação ao uso de sementes de baixo vigor. Além disso, sementes de alto vigor asseguram o estabelecimento de lavouras com plantas de alto vigor.

As sementes de soja quando atingem o estágio de maturidade fisiológica, apresentam grau mais elevado de qualidade; posteriormente, ocorre o armazenamento no campo, resultando na gradual, muitas vezes rápida, mas sempre irreversível perda de vigor da semente até a próxima semeadura (FRANÇA NETO; HENNING, 1984; KUENEMAN, 1989). As causas da deterioração das sementes podem ser devido, principalmente, às adversidades climáticas no campo, armazenamento em ambiente úmidos e quentes, danos mecânicos durante as operações de colheita, transporte, manuseio e beneficiamento; em certas condições as causas patológicas, fisiológicas ou mecânicas agem sinergicamente (KUENEMAN, 1989).

A semente de soja é muito sensível a danos, especialmente o dano mecânico, uma vez que as partes vitais do eixo embrionário (radícula, hipocótilo e plúmula) estão situados sob um tegumento pouco espesso, que praticamente não lhe oferece proteção (FRANÇA NETO; HENNING, 1984). A susceptibilidade do tegumento da semente ao dano mecânico constitui-se em caráter importante para a qualidade de sementes de soja, a qual está intimamente relacionada com a variabilidade genética (CARBONELL, 1991).

Analisando todos os aspectos que estão envolvidos na qualidade da semente e seus efeitos na implantação e produtividade da cultura da soja, fica nitidamente clara a importância fundamental de se utilizar semente de alta qualidade e de origem conhecida. Portanto, a utilização de semente de alta qualidade garante a população adequada de plantas, maior velocidade de emergência e de desenvolvimento das plantas, culminando no fechamento das entrelinhas rapidamente, o que resulta também no controle eficiente das ervas daninhas e evita a introdução de patógenos ou nematóides (pragas) antes ausentes na área.

2.2. Qualidade fisiológica de sementes

O controle de qualidade de sementes de soja está cada vez mais eficiente e dinâmico, principalmente em função da competitividade do mercado, tornando crescentes os investimentos nessa área (BARROS; MARCOS FILHO, 1997).

A semente não é um grão que germina. Ela possui atributos de qualidade genética, física, fisiológica e sanitária que um grão não tem e que lhe confere a garantia de um desempenho agrônomo, que é a base fundamental do sucesso para uma lavoura tecnicamente bem instalada (KRZYZANOWSKI et al., 2008a).

Segundo Krzyzanowski (2004a), para ser considerada de alta qualidade, uma semente deve ter características como altas taxas de vigor, de germinação e de sanidade, bem como garantias de purezas física e varietal, além de não conter sementes de plantas infestantes. Esses fatores respondem pelo desempenho das sementes no campo, culminando com o estabelecimento da população de plantas requerida pela cultivar, aspecto fundamental que contribui para que sejam alcançados níveis altos de produtividade.

A qualidade fisiológica é representada pela germinação e vigor das sementes. A semente necessita germinar e emergir para se tornar uma planta (PESKE et al., 2010). A composição da semente, devido à sua constituição química e estrutura morfológica, é que determinam a grande sensibilidade a fatores externos, acarreta em dificuldades na obtenção de sementes com alta capacidade germinativa e vigor (DELOUCHE, 1974).

O teste de germinação pode avaliar satisfatoriamente a viabilidade de lotes com alta homogeneidade, no entanto, o desempenho de lotes em nível de campo, com alto grau de heterogeneidade, somente pode ser avaliado pelos testes de vigor (LOPES et al., 2002).

De acordo com Delouche e Caldwell (1960) vigor é a soma de todos os atributos da semente que favorecem um rápido e uniforme estabelecimento das plantas em campo. Assim sendo, o vigor das sementes é um dos principais atributos da qualidade fisiológica a ser considerado na implantação de lavouras comerciais. Entretanto, o vigor, pela sua própria característica de complexidade, nem sempre pode ser avaliado completamente por apenas um teste, razão pela qual, recomenda-se o uso de vários testes para que se tenha uma idéia mais precisa da qualidade fisiológica de um lote de sementes (SCHEEREN et al., 2010).

A figura 1 apresenta a relação existente entre germinação e vigor durante a deterioração de sementes defendida por Delouche e Caldwell (1960), citada por Marcos Filho (2005), na qual é representada a existência de uma diferença crescente entre germinação e vigor, à medida que progride a deterioração, resultando em amplas variações de vigor em um lote com germinação elevada e na queda mais rápida do vigor durante a deterioração.

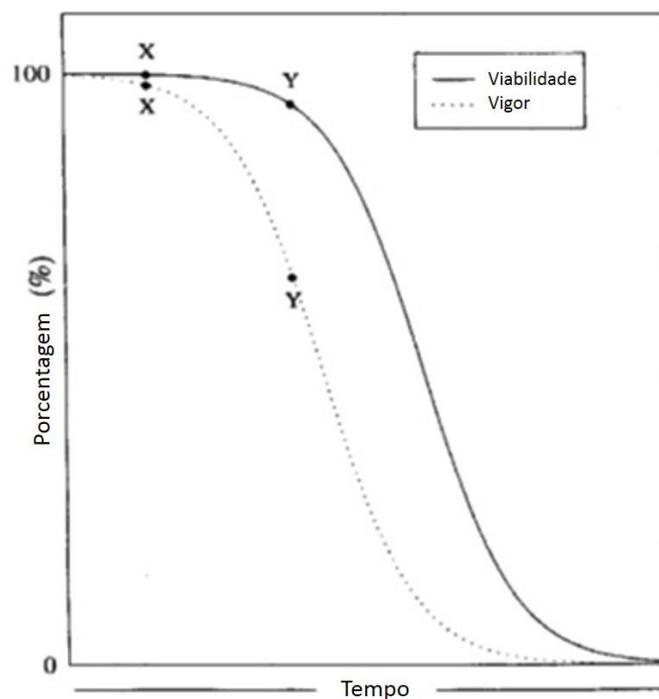


Figura 1 - Relação entre viabilidade e vigor em função do tempo. O X e o Y são pontos que ilustram, nas curvas de viabilidade e vigor, a diferença entre as quedas desses dois fatores no processo de deterioração de sementes em função do tempo. (MARCOS FILHO, 2005)

A qualidade fisiológica de sementes de soja é em grande parte influenciada pelo genótipo. Nos últimos anos, os programas de melhoramento genético têm buscado desenvolver materiais com características como resistência a doenças e pragas, teores de óleo e proteína e, mais recentemente, teor de lignina no tegumento das sementes (COSTA et al., 2001). Entretanto, fatores como o retardamento da colheita da soja, após a maturidade fisiológica, podem causar reduções de germinação e vigor das sementes dependentes de fatores genéticos e das condições do ambiente natural às quais estão expostas, causando deterioração (MINUZZI et al., 2010). Contudo, durante o beneficiamento, como o caminho que a semente percorre é longo, comumente ocorrem injúrias mecânicas causadas por agentes físicos durante o manuseio das mesmas, que além de provocarem prejuízos diretos, dão abertura a agentes patogênicos altamente deletérios (MACHADO, 2000).

Segundo Peske et al. (2010), no Brasil, a qualidade das sementes pode ser facilmente determinada em laboratórios especialmente montados para tal fim. Existem mais de 250 laboratórios credenciados para realização das análises de germinação e pureza, os quais, sob requisição especial, podem também realizar testes de vigor. Para a confiabilidade dos resultados, existem as Regras para Análise de Sementes (RAS), que internacionalmente são publicadas pela Associação Internacional de Análise de Sementes desde 1931, e no Brasil, existem as regras nacionais, que foram atualizadas em 2009.

2.2.1. Deterioração em sementes

É provável que seja impossível definir, em termos exatos e não ambíguos, deterioração de sementes. Segundo Delouche (2002), de forma prática, a deterioração das sementes pode ser vista como um complexo de mudanças que ocorrem com o passar do tempo, causando prejuízos a sistemas e funções vitais e resultando na diminuição no grau de capacidade e desempenho da semente. A deterioração começa depois que a semente alcança a maturidade fisiológica e continua até ela perder sua capacidade de germinar. A duração do processo de deterioração é determinada principalmente pela interação entre herança genética, o grau de hidratação da semente e temperatura. A partir da maturação de sementes, podem ocorrer alterações degenerativas, de modo que a qualidade fisiológica pode ser mantida ou decrescer, dependendo das condições do ambiente no período que antecede a colheita, dos cuidados durante a colheita, secagem e o beneficiamento (DELOUCHE; BASKIN, 1973). Assim, as

sementes devem ficar em locais favoráveis e com clima ideal até o início de uma nova geração.

Os efeitos menores da deterioração são múltiplos e sequenciais e apresentam efeitos muito significativos sobre o desempenho das sementes no campo (Figura 2). Os efeitos menores são mais significantes para os especialistas em controle de qualidade e agricultores do que a perda da capacidade de germinar (DELOUCHE, 2002).

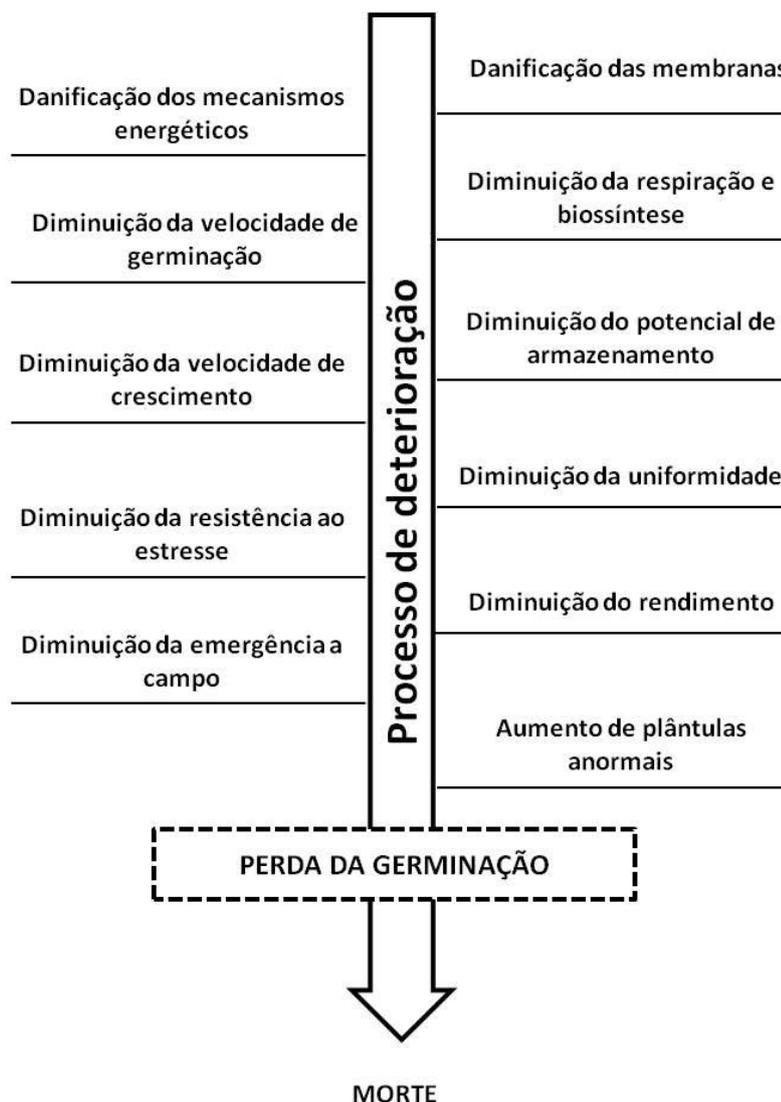


Figura 2. Sequencia proposta de modificações no desempenho das sementes no processo de deterioração.

A velocidade e o progresso da deterioração nas sementes são fundamentalmente influenciados pelo grau de hidratação da semente, temperatura, e herança genética. O ambiente no campo tem um efeito profundo sobre a qualidade fisiológica das sementes.

Temperaturas altas, chuvas frequentes e alta umidade, podem resultar em uma rápida e extensiva deterioração, causando baixas germinação e vigor de sementes na época da colheita. Temperatura e umidade das sementes são os principais fatores que afetam, a velocidade de deterioração. A importância da umidade e temperatura foi realçada muitos anos atrás por Jim Harrington em suas famosas regras práticas para armazenamento de sementes: a longevidade de uma semente é dobrada para cada 1% de diminuição no seu conteúdo de umidade e cada 5,5°C de diminuição na temperatura durante o armazenamento (DELOUCHE. 2002).

A oxidação de ácidos graxos insaturados é citada como a primeira reação do processo de envelhecimento, produzindo radicais livres que subsequentemente atuam sobre lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos, em uma reação em cadeia (SIMONI, 2003). Wilson Júnior e McDonald (1986) observaram que a formação de radicais livres por meio de processos metabólicos normais da célula é consequência da reação do oxigênio com os lipídeos estruturais, constituintes da membrana celular, principalmente os polinsaturados. Além dos radicais livres, são formados peróxidos instáveis, mediante processo denominado de peroxidação de lipídeos. Segundo Araújo (1989) a velocidade da reação de oxidação depende do grau de insaturação presente na molécula do ácido graxo, sendo que quanto maior o grau de insaturação, maior sua suscetibilidade a oxidação. Basavarajappa et al. (1991) ressaltaram que os radicais livres produzidos, como um resultado da peroxidação de lipídeos, no envelhecimento, reagem com os lipídeos das membranas celulares destruindo a estrutura dessas e também as reservas das sementes.

Nesse aspecto, possíveis explicações para a redução tão drástica das porcentagens de germinação podem ser sanadas com uso de testes mais sensíveis, como os que determinam o grau de atividade de certas enzimas associadas à digestão de reservas e à formação de novos tecidos durante a germinação (COPELAND; McDONALD, 1995).

Segundo Delouche e Baskin (1973), o processo de Envelhecimento Artificial baseia-se no aumento da taxa de deterioração das sementes por meio da sua exposição a condições de elevada temperatura e umidade relativa, por utilizar fatores ambientais comumente associados com a deterioração das sementes, como altas temperatura e umidade relativa do ar (TEKRONY, 1993). Baseado nessas observações, surge o teste de envelhecimento acelerado para avaliação de vigor de sementes, revelando-se um método eficiente para avaliar o potencial fisiológico de sementes de soja (TOMES; TEKRONY; EGLI, 1988). Seu princípio baseia-se no fato de que sementes de maior vigor são mais tolerantes às condições adversas de umidade relativa e temperatura e apresentam valores mais altos de germinação que as menos

vigorosas que, quando expostas às mesmas condições, têm sua viabilidade reduzida (DELOUCHE; BASKIN, 1973).

2.2.2. Danos Mecânicos em sementes

Vários pesquisadores, dentre os quais Naplava, Weingartmann e Boxberger (1994) e Peterson, Perdomo e Burris (1995) e Pacheco, Castoldi e Alvarenga (1996), constataram injúrias mecânicas em sementes provocadas pelo beneficiamento, proporcionando aumento do número de plântulas fracas e anormais, maior susceptibilidade a microrganismos, maior sensibilidade ao tratamento químico e redução do potencial de armazenamento. Além disso, por causa dos efeitos cumulativos das injúrias mecânicas, a germinação, o vigor e a produtividade foram irreversivelmente afetados. Essas injúrias mecânicas causadas pelo beneficiamento ocorrem por contatos das sementes com superfícies rígidas, que provocam quebras, trincas e abrasões, ocasionando redução na germinação e no vigor (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999), além de dificultar as operações de beneficiamento.

A injúria mecânica e a mistura de variedades são apontadas pelos tecnologistas como uns dos mais sérios problemas da produção de sementes por se constituírem em uma questão praticamente inevitável, pois ocorrem danos em todas as etapas do processo produtivo de sementes. Os danos mecânicos nas sementes são visíveis ou imediatos e invisíveis ou latentes, sendo que os imediatos são facilmente caracterizados na observação de tegumentos quebrados, cotilédones separados e/ou quebrados a olho nu, enquanto, nos latentes, há trincas microscópicas e/ou abrasões ou danos internos no embrião, sob os quais a germinação pode não ser imediatamente atingida, mas o vigor, o potencial de armazenamento e o desempenho da semente no campo são reduzidos (FRANÇA NETO; HENNING, 1984).

As sementes de soja são muito sensíveis à danificação mecânica, uma vez que o eixo embrionário está situado sobre um tegumento pouco espesso, que praticamente não oferece proteção (COSTA et al., 1979; FRANÇA NETO, 1984). Ressalta-se, porém, a presença de variabilidade genética para a susceptibilidade da semente de soja ao dano mecânico (CARBONELL et al., 1993), sendo vários os trabalhos de pesquisa que comprovam isso (PAULSEN; NAVE, 1981; COSTA; KUENEMAN; MONTEIRO, 1987; CARBONELL; KRZYZANOWSKI, 1995). Estudos recentes confirmaram a correlação positiva entre o teor

de lignina e a resistência do tegumento de sementes de cultivares de soja resistente a dano mecânico (ALVAREZ et al., 1997; FLOR et al., 2004).

2.3. Testes de vigor em sementes

A título de comercialização, o potencial fisiológico das sementes tem sido baseado apenas no teste de germinação. No entanto, o teste de germinação, na maioria das vezes superestima o potencial fisiológico das sementes, pois o mesmo é realizado em condições ideais à germinação apresentando, assim, discrepâncias de resultados em relação à emergência em campo. A utilização de testes de vigor é indispensável para a caracterização do potencial fisiológico das sementes, fornecendo informações complementares ao teste de germinação. Nesse contexto, a utilização de métodos rápidos, confiáveis e de fácil execução é fundamental para a avaliação do potencial fisiológico das sementes, por agilizar as tomadas de decisões referentes ao manejo dos lotes (MERTZ et al., 2012).

Sementes com baixo vigor podem apresentar reduções na velocidade e na emergência total, no tamanho inicial, na produção de matéria seca, na área foliar e nas taxas de crescimento das plantas (KOLCHINSKI et al., 2005). Lotes com menor vigor, em função da maior variação entre as sementes, apresentam maior desuniformidade e menor velocidade na emergência (SCHUCH et al., 1999). Assim, a determinação da qualidade fisiológica das sementes, por meio da germinação, segue procedimentos há muito tempo dominados. Para vigor, apenas recentemente esta técnica foi introduzida nos programas internos de controle de qualidade das empresas.

Reconhece-se que os testes de vigor representam uma importante ferramenta nas decisões que devem ser tomadas nas fases de produção e comercialização dos lotes, evitando o beneficiamento, transporte, comercialização e semeadura de material de qualidade inadequada ou duvidosa (KRZYZANOWSKI et al., 1991). Estes foram desenvolvidos para proporcionar informações adicionais ao teste de germinação e não para substituí-los. Segundo Marcos Filho (1999a) o desempenho das sementes, tanto no armazenamento como em campo, depende não só do histórico dos lotes como, principalmente, das condições do ambiente ao qual a semente permanece exposta, sendo indispensável a escolha dos métodos para a avaliação do vigor e os cuidados na interpretação dos resultados.

A avaliação do vigor de sementes constitui providência fundamental para o sucesso da produção de sementes de soja, reconhecidas por sua sensibilidade à deterioração e a práticas

de manejo menos adequadas após a maturidade (MARCOS FILHO, 1999b). Vários testes têm sido recomendados para a avaliação do vigor de sementes de soja, destacando-se os de envelhecimento acelerado, tetrazólio, condutividade elétrica, crescimento de plântulas, classificação do vigor de plântulas (VIEIRA et al., 2003). As instituições públicas de pesquisa e as universidades têm se preocupado principalmente com a condução de pesquisas visando à adequação de procedimentos para a determinação do vigor, a identificação de sua eficiência e a tentativa de padronização para que as empresas produtoras possam utilizar essas informações para a composição de programas internos de controle de qualidade (VIEIRA, 1999).

Segundo McDonald (1975) os testes de vigor estão distribuídos de acordo com a seguinte classificação: testes físicos – que avaliam aspectos morfológicos ou características físicas das sementes possivelmente associadas ao vigor (tamanho, peso unitário, densidade, coloração das sementes e testes de raio X); testes fisiológicos – que procuram determinar atividade fisiológica específica, cuja manifestação depende do vigor (classificação do vigor de plântulas, primeira contagem de germinação, velocidade de germinação ou emergência de plântulas, transferência de matéria seca, teste de exaustão e crescimento das plântulas); teste bioquímicos – que avaliam alterações bioquímicas associadas ao vigor das sementes (teste de respiração, teste ADAG, teste de tetrazólio, teste de condutividade elétrica, teste de lixiviação de potássio, teste dos aldeídos voláteis, teste dos ácidos graxos livres); testes de resistência – que avaliam o desempenho de sementes expostas a estresses (germinação a baixas temperaturas, imersão em água quente, teste de submersão, imersão em solução osmótica, imersão em soluções tóxicas às sementes, teste do tijolo moído, envelhecimento acelerado e teste de frio). Dentre os testes mencionados, os comitês de vigor da International Seed Testing Association (ISTA) e da Association of Official Seed Analysts (AOSA) consideram como os mais convenientes para a avaliação do vigor: a classificação do vigor de plântulas, o envelhecimento acelerado, o teste de frio, o teste de tetrazólio e o teste de condutividade elétrica.

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes, por meio de determinações que demandam um período de tempo relativamente curto, são as relacionadas com os processos fisiológicos da deterioração como, por exemplo, as atividades enzimáticas e respiratórias e a integridade das membranas celulares. Essas determinações se baseiam na coloração dos tecidos vivos das sementes, em função de alterações na atividade respiratória, caso do teste de tetrazólio, ou na permeabilidade das membranas, avaliando características relacionadas à

liberação de metabólitos celulares durante a embebição das sementes, como a condutividade elétrica (BARROS; MARCOS FILHO, 1997).

Os testes de vigor trazem benefícios a todos os segmentos da produção de grandes culturas e de hortaliças. São usados com maior frequência pelas empresas produtoras de sementes e há necessidade de serem concentrados esforços no sentido de fazer com que passem a se constituir em componentes permanentes das análises de rotina (KRZYZANOWSKI et al, 1999).

2.4. Teste de condutividade elétrica de embebição de sementes

O teste de condutividade elétrica começou a ser explorado como provável indicativo da viabilidade de sementes quando foram detectadas diferenças na condutividade elétrica entre tecidos vegetais vivos e mortos de *Laminaria* (OSTERHOUT *apud* FICK; HIBBARD, 1925). Posteriormente, verificou-se a possibilidade do uso deste método em sementes de capim timóteo e trevo-vermelho (FICK; HIBBARD, 1925); de feijão, milho, ervilha, trigo e capim timóteo (HIBBARD; MILLER, 1928), bem como em sementes de algodão (PRESLEY, 1958).

Contudo, só no final da década de 60 e início da de 70, esse teste passou a despertar maior interesse, quando então passou a ser proposto como teste de vigor para sementes de ervilha na Inglaterra (MATTHEWS; BRADNOCK, 1968). Posteriormente, foi internacionalmente aceito e recomendado para ser usado em sementes de ervilha e soja pela ISTA (MATTHEWS; POWELL, 1981; HAMPTON; TEKRONY, 1995) e sugerido para ser usado nessas espécies pela AOSA (AOSA, 1983).

O teste de condutividade elétrica é classificado como um teste bioquímico (BEWLEY; BLACK, 1985; MARCOS FILHO, 2005), porém envolve dois princípios: o físico, em que se está avaliando a passagem de corrente elétrica através de determinada solução, e o biológico, que diz respeito à perda de líquidos do meio interior da célula para o meio exterior, em função do grau de deterioração das sementes, envolvendo, portanto, processos bioquímicos intimamente relacionados à integridade das membranas celulares. Entretanto, segundo Powell e Matthews (1981) o processo de lixiviação, em si, do embrião e da semente, é um fenômeno de difusão física, visto que ocorre tanto em tecido vivo como não-vivo.

Pelo princípio físico, a condutividade elétrica pode ser medida por aparelhos capazes de monitorar a quantidade de exsudato liberada pelas sementes para o meio externo quando as

mesmas são imersas em água. Basicamente, a avaliação da condutividade elétrica, como teste de vigor em sementes, apresenta hoje duas alternativas: uma, a chamada condutividade de massa ou sistema de copo (*bulk conductivity*) em que as sementes que compõem a amostra são avaliadas em conjunto; e a com base na avaliação da condutividade individual de cada semente (STEERE et al., 1981; AOSA, 1983; HAMPTON; TEKRONY, 1995; DIAS; BARROS, 1995; VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

Por outro lado, referindo-se ao princípio biológico, as sementes são constituídas de células envolvidas por membranas plasmáticas semipermeáveis que controlam as trocas de água e solutos entre as células e seu meio exterior. A quantidade e a intensidade de material lixiviado estão diretamente relacionados à permeabilidade das membranas e, conseqüentemente, com o nível de deterioração das sementes. Esses solutos, com propriedades eletrolíticas, apresentam carga elétrica podendo então, ser detectados por aparelhos próprios (condutivímetros), constituindo estes, um importante método para avaliação da qualidade fisiológica das sementes (YAKLICH et al., 1979, McDONALD; WILSON, 1980; POWELL, 1986; HAMPTON; TEKRONY, 1995; DIAS; BARROS, 1995, VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

O teste de condutividade elétrica baseia-se no princípio de que, com o processo de deterioração, ocorre a lixiviação de constituintes celulares das sementes embebidas em água, devido à perda da integridade dos sistemas de membranas celulares. Assim, baixa condutividade indica sementes com alto vigor e alta condutividade, ou seja, maior quantidade de lixiviados determina baixo vigor (VIEIRA, 1994; VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). Estes resultados corroboram com várias pesquisas (MARCOS FILHO et al., 1990; VIEIRA et al., 2002 e 2004), as quais têm demonstrado que a diminuição da germinação e do vigor se relaciona diretamente com a elevação da concentração de eletrólitos liberados pelas sementes durante a embebição. Nesse sentido, a determinação da condutividade elétrica da água de embebição tem sido proposta como um dos testes bastante sensíveis para avaliação do vigor (VANZOLINI; NAKAGAWA, 1998, VIEIRA et al., 2002, VIEIRA et al., 2004).

A deterioração de sementes pode ter início antes da colheita, após a maturidade fisiológica das sementes e continuar durante a colheita, processamento e armazenamento, sofrendo grande influência da genética, dos processos de produção e dos fatores ambientais (CARVALHO; NAKAGAWA, 2005). O processo de deterioração ainda não é totalmente conhecido, contudo, a consequência inicial seria a degradação das membranas celulares (DELOUCHE; BASKIN, 1973).

2.4.1. Membranas celulares

Os testes de vigor cujo princípio baseia-se na integridade das membranas celulares, merecem destaque, visto que possibilitam detectar o processo de deterioração da semente em sua fase inicial (DELOUCHE; BASKIN, 1973), conseqüentemente, podem ser tomadas medidas pertinentes, visando reduzir ou minimizar o efeito da deterioração na qualidade fisiológica da semente de um determinado lote (DIAS; MARCOS FILHO, 1995).

Dessa forma, o vigor da semente pode e vem sendo avaliado pela condutividade elétrica, medida na solução de embebição das sementes, o que reflete a quantidade de líquidos perdidos para o exterior das células; logo, a integridade das membranas celulares (MATTHEWS; POWELL, 1981; AOSA, 1983; HAMPTON; TEKRONY, 1995).

O grau de desorganização das membranas celulares reflete, diretamente, a quantidade e qualidade dos constituintes celulares perdidos. A integridade dessas membranas é muito importante para que as mesmas exerçam suas funções. A perda de controle da compartimentalização intracelular, com alteração no metabolismo pode causar a perda da viabilidade da semente (ROBERTS, 1972; BEWLEY, 1986). Vários fatores estão relacionados à permeabilidade das membranas, dentre os quais, a idade da semente, sua condição fisiológica e física e a incidência de injúrias (POWELL, 1986).

As membranas biológicas são primariamente compostas por uma camada dupla de lipídios, contendo proteínas intrínsecas, localizadas no interior desta camada e extrínsecas, que só se relacionam com a superfície da membrana. A camada dupla age como uma barreira à difusão de material para o interior e o exterior das células e organelas e também proporciona um meio adequado para que as proteínas mensageiras atuem. A camada lipídica é constituída por grupos hidrofóbicos e hidrofílicos, os quais, dependendo do teor de água da semente, irão apresentar-se com uma determinada organização estrutural (BEWLEY, 1986).

De acordo com Simon (1974) a arquitetura das membranas em sementes com baixo teor de água, encontra-se na fase hexagonal, pois, com a secagem das sementes, as membranas celulares sofrem um processo de desorganização estrutural, tornando-se relativamente porosas e permeáveis a solutos, estando tanto mais desorganizadas quanto menor for o teor de água. A organização molecular das membranas é estabilizada em função da relação entre os componentes da membrana e a água, quando então, a arquitetura das mesmas passa para a fase lamelar, com a estrutura da camada dupla de lipídios. Segundo Luzzati e Husson (1962) sementes com conteúdo de água abaixo de 20%, permitem que os

fosfolipídios apresentem um arranjo hexagonal similar ao que foi observado por Simon (1974).

Estudos realizados por McKersie e Stinson (1980) indicaram que a configuração lamelar persiste em sementes de lótus com até 5% de água. Por outro lado, Finean citado por Loeffler (1981) concluiu que foi necessário um teor de água de pelo menos, 20 a 30% para manter a organização da dupla camada lipoprotéica; porém, alterações na configuração das membranas ocorrem quando o conteúdo de água decresce, com conseqüente aumento da permeabilidade.

Durante o processo de maturação da semente, o sistema de membranas está sujeito a contínuas transformações em função do desenvolvimento e do teor de água, sendo que na maturidade fisiológica, as membranas celulares apresentam a sua máxima organização. A partir deste momento, em conseqüência da perda de água, quer seja por processo natural ou artificial, as membranas celulares desorganizam-se estruturalmente, independente do grau de deterioração das mesmas (ABDUL-BAKI, 1980).

Tem sido observado que, quando sementes secas são colocadas em contato com substrato úmido, ocorre uma rápida e intensa liberação de eletrólitos, seguida de uma redução na perda de solutos à medida que os tecidos são reidratados, até atingir um estado de equilíbrio (SIMON; RAJA HARUN, 1972). Este equilíbrio é atingido após um período de tempo que varia de 1, 2 até 24 horas, em espécies de sementes grandes (ervilha, soja, feijão, girassol, milho), ou em menos de uma hora, em espécies de sementes pequenas como as umbelíferas (SIMON; MATHAVAN, 1986). Esse comportamento, segundo Larson (1968), em particular para sementes de soja, ocorre em função da ruptura física e da morte de algumas células da superfície cotiledonar no início do processo de embebição da semente. Trabalhos com ervilha (POWELL; MATTHEWS, 1981) mostraram comportamento similar.

O aumento na quantidade de eletrólitos na água de embebição está diretamente relacionado à degradação das membranas e conseqüente perda do controle da permeabilidade (CHING; SCHOOLCRAFT, 1968). Com o aumento do grau de deterioração, diminui a capacidade de reorganização das membranas celulares. Isto se reflete num decréscimo da germinação e do vigor das sementes, como foi observado por Lin (1990) para sementes de feijão.

De acordo com Abdul-Baki (1980), durante a embebição, o sistema de membranas das sementes reorganiza-se, readquirindo o controle da permeabilidade. O ideal é que esse processo ocorra no menor período de tempo possível para reduzir a perda de lixiviados para o

meio externo. A velocidade de reorganização do sistema de membranas reflete o vigor da semente. Woodstock (1988) considerou que a exsudação de constituintes celulares mostrou-se inversamente associada ao vigor com base em três fatores: reflete a perda da integridade das membranas, representa a conseqüente perda de compartimentagem dos constituintes celulares e consiste em excelente substrato para o desenvolvimento de microorganismos, acelerando o processo de deterioração da semente.

Portanto, aceita-se que a integridade e a organização das membranas não se completam durante, pelo menos, alguns minutos após a embebição. Contudo, com o decorrer do tempo, esta situação altera-se com a retomada natural de sua configuração mais estável ou pela restauração de algum mecanismo enzimático ainda não identificado claramente. Em sementes mais deterioradas ou não viáveis, esses mecanismos de reparo estariam ausentes ou seriam ineficientes; ou ainda, as membranas estariam tão profundamente danificadas, que seria impossível o reparo (BEWLEY; BLACK, 1985).

Esta relação entre a quantidade de lixiviados, teor de água, nível de organização das membranas e condutividade elétrica da solução de embebição das sementes, é a base teórica que permite relacionar a condutividade elétrica com o vigor de sementes em que altos valores de condutividade elétrica (alta perda de lixiviados) indicam baixo vigor, e baixos valores (baixa perda de eletrólitos), alta qualidade fisiológica de sementes; logo, alto vigor (HAMPTON; TEKRONY, 1995; VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

2.4.2. Caracterização dos lixiviados

Vários trabalhos de pesquisa têm mostrado que podem ser lixiviados compostos orgânicos, tais como açúcares, enzimas, nucleotídeos, ácidos graxos, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas, e compostos inorgânicos, tais como fosfatos e íons de K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Na^+ , Cl^- das células (MATTHEWS; BRADNOCK, 1967; CHING; SCHOOLCRAFT, 1968; ABDU-BAKI; ANDERSON, 1973; MATTHEWS; CARVER, 1971; SHORT; LACY, 1976; ABDEL SAMAD; PEARCE, 1978; MARCOS FILHO et al., 1982; AOSA, 1983; BEWLEY; BLACK, 1985; WOODSTOCK, 1988).

Os açúcares estão relacionados com a viabilidade e o vigor das sementes, uma vez que servem como um importante componente de proteção na tolerância à desidratação delas durante o processo de maturação e estão envolvidos também com a permeabilidade das membranas celulares (BEWLEY; BLACK, 1985).

Com relação à natureza dos constituintes, as observações são que, por ocasião da embebição, as sementes liberam grande variedade de substâncias, tais como íons inorgânicos, açúcares, aminoácidos, enzimas, nucleosídeos e ácidos graxos (BEWLEY; BLACK, 1985). Desse modo a relação entre a quantidade de lixiviados, nível de organização das membranas celulares e condutividade elétrica da solução de embebição das sementes permite relacionar a condutividade elétrica com o vigor de sementes em que altos valores de condutividade elétrica (alta perda de eletrólitos) indicam baixo vigor, e baixos valores (baixa perda de eletrólitos), alto vigor. O teste de condutividade elétrica de massa tem sido utilizado para avaliar o vigor de sementes de várias espécies, principalmente das consideradas grandes culturas (MARCOS FILHO, 2005).

2.4.3. Interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica

A interpretação de resultados dos testes de vigor tem sido um dos grandes problemas dentro da tecnologia de sementes, visto que, em geral, não se têm parâmetros para comparação. No caso particular do teste de condutividade elétrica, um grande número de informações tem sido obtido, especialmente, com determinadas espécies, tais como ervilha, soja, feijão e milho, porém, em proporções diferentes para cada uma delas (VIEIRA, 1994; HAMPTON; TEKRONY, 1995).

Segundo Krzyzanowski et al., (1999), do mesmo modo que para outros testes, os resultados do teste de condutividade elétrica só permitem comparações do potencial fisiológico entre os lotes avaliados, sendo ainda muito difícil inferir sobre o comportamento dos lotes de sementes, quando sob condições de campo, visto que esse comportamento está na dependência das condições climáticas predominantes durante a semeadura e a emergência das plântulas. Assim, os resultados deste teste, bem como de outros testes de vigor, no momento, poderão ter importância bastante grande no estabelecimento de programas de controle de qualidade nas empresas produtoras de sementes, onde a princípio o estabelecimento de índices, usando mais de um teste, parece ser o mais indicado.

A interpretação dos dados é feita por meio da avaliação da quantidade de lixiviados liberados internamente da semente para a solução de embebição, em função do grau de deterioração em que ela se encontra e, desse modo, é possível inferir sobre o nível de vigor daquela semente ou do lote ou, pelo menos, sobre o possível uso e manejo das mesmas (KRZYZANOWSKI et al., 1999). A quantidade de exsudatos da semente, na água de

embebição, no teste de condutividade elétrica, pode ser influenciada por uma série de fatores, dentre os quais, questiona-se o efeito do genótipo numa mesma espécie (SHORT; LACY, 1976), o estágio de desenvolvimento da semente no momento da colheita (POWELL, 1986), bem como a interação armazenamento x genótipo.

No caso de sementes de soja, Paiva Agüero (1995) verificou que a condutividade elétrica pode estimar, com alto grau de precisão, o desempenho das mesmas no campo, dependendo das condições climáticas predominantes por ocasião da semeadura. Pode-se determinar valores ou faixas de valores de condutividade *bulk* para sementes de soja, no sentido de inferir sob que condições de campo devem ser utilizadas, com possibilidade de maior ou menos sucesso. Esse mesmo autor verificou que se pode obter alta emergência de sementes de soja no campo, com condutividade de até 110 $\mu\text{Mhos cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$, desde que as condições de campo sejam adequadas à germinação e à emergência das mesmas. Por outro lado, sob pequenas limitações para a germinação, a condutividade não pode ser superior a 90 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

2.4.4. Correlação entre condutividade elétrica e vigor de sementes

O teste de condutividade elétrica tem sido considerado por pesquisadores como um bom indicador da emergência de plântulas em campo. Marcos Filho et al. (1986) e Rech et al. (1999), entre outros, demonstraram correlação altamente significativa entre essas características para sementes de ervilha.

Dos estudos iniciais com sementes de ervilha, várias pesquisas, envolvendo a condutividade elétrica, têm sido conduzidas como método para adaptar seu uso para outras espécies. O teste de condutividade elétrica aplicado em sementes de soja foi também considerado um indicador mais eficiente da emergência de plântula em campo do que o teste de germinação (OLIVEIRA et al., 1984).

Estudos com sementes de soja, colhidas em diferentes épocas e armazenadas em ambientes distintos, demonstraram que o teste de condutividade forneceu informações mais precisas quanto à qualidade fisiológica do que o teste de envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO et al., 1986). Prete et al. (1994) detectaram correlação altamente significativa entre a condutividade elétrica e a emergência de plântulas de soja em campo. O teste foi, então, considerado suficiente para classificar lotes de sementes e cultivares dentro de níveis de vigor.

Mais recentemente, Vieira et al. (1999a) trabalhando com sementes de soja, após as avaliações de qualidade e experimentos de emergência em campo concluíram que o teste de condutividade elétrica, por meio do uso de faixas de valores, permite estimar, com alto grau de precisão, o desempenho de lotes em campo, dependendo das condições climáticas presentes no momento da sementeira. Resultado semelhante foi encontrado por Fagioli (1997) com sementes de milho.

A maioria dos trabalhos concentra estudo sobre a relação dos testes de condutividade e a emergência de plântulas em campo, sendo poucos aqueles que correlacionam os resultados de condutividade com outros testes de vigor. Nesse sentido, Loeffler et al. (1988) observaram correlação com outros testes de avaliação de vigor como primeira contagem, velocidade de germinação e envelhecimento acelerado, resultados similares aos de Vieira et al. (1999b), que apontaram boa correlação entre os resultados obtidos pelo teste de condutividade elétrica com os de emergência de plântulas em campo, germinação e envelhecimento acelerado. Do mesmo modo, Santos (2004) verificou correlação significativa entre os resultados dos testes de condutividade elétrica e os de germinação.

Ayala-Aguilera e Menezes (2000) constataram que os testes de germinação, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica são bons indicadores para selecionar cultivares de soja em relação à qualidade das sementes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Salinas et al. (2001), em estudo comparativo entre os testes de vigor para avaliação da qualidade de sementes de soja, tendo verificado que o teste de condutividade elétrica é considerado bom para detectar as alterações nas membranas citoplasmáticas, em estádios precoces de deterioração.

Entre as inúmeras vantagens do teste de condutividade elétrica como um bom indicador do vigor de sementes está, ainda, o fato de ele ser considerado um teste rápido por estar relacionado com eventos iniciais da sequência de deterioração das sementes, como a degradação das membranas celulares e a redução das atividades respiratórias e biossintéticas (DELOUCHE; BASKIN, 1973). O teste de condutividade elétrica avalia o grau de estruturação das membranas celulares em decorrência da deterioração das sementes, por meio da determinação da quantidade de íons lixiviados em solução de embebição. As sementes de menor potencial fisiológico liberam maior quantidade de lixiviados, como consequência da menor estruturação e seletividade das membranas (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Sementes da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília, de acordo com as etapas descritas a seguir.

3.1. Sementes utilizadas

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas sementes da cultivar BMX Potência RR, da empresa Brasmax Genética Ltda, obtidas de plantio próprio, supervisionado pelo professor Marcelo Fagioli, realizado na Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, colhido e debulhado a mão em período próximo ao de maturidade fisiológica, para que fosse evitado qualquer tipo de danos ao tegumento e ao embrião ou por exposição prolongada às intempéries climáticas.

A cultivar BMX Potência RR é uma das cultivares mais plantadas no Brasil, recomendada para plantio na Macrorregião Sojícola 1: RS, SC, Sudoeste/ SUL do Paraná e Macrorregião Sojícola 2: norte e oeste do PR, Sul do MS e Sudoeste de SP. Apresenta ciclo precoce; grupo de maturidade 6.7, elevado potencial produtivo, resistência ao acamamento, grande quantidade de vagens com três grãos, porte alto, boa rusticidade e ampla adaptação a vários ambientes, apresentando ótima sanidade, principalmente na maturação. É considerada uma ótima opção para rotação com cana-de-açúcar e milho, principalmente em plantio direto na palha.

3.2. Qualidade inicial das sementes

Para avaliar a qualidade inicial das sementes, a fim de confirmar seu alto potencial fisiológico para utilização no presente trabalho, foram realizados três testes: teste padrão de germinação (TPGP) em papel, teste de dano mecânico (TDM) com hipoclorito 5% e determinação do teor de água (TA). Os testes foram conduzidos segundo metodologia descrita a seguir.

3.2.1. Teste padrão de germinação, em papel (TPGP)

Foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes por amostra, em rolo de papel toalha (Germitest), embebido em água na quantidade de 2,5 vezes o peso do substrato seco, a 25°C (BRASIL, 2009). Foi realizada contagem de plântulas normais ao 5º dia.

3.2.2. Teste de dano mecânico (TDM)

Foram realizadas quatro repetições com 100 sementes. As sementes foram imersas em solução de hipoclorito de sódio + água, em concentração de 5,0% durante 10 minutos. Após esse período, será realizada a contagem das sementes que embeberam (KRZYZANOWSKI et al., 2004b).

3.2.3. Determinação do teor de água da semente (TA)

Determinado pelo método da estufa 105 +/- 3°C, por 24 horas. Foram utilizadas duas amostra de 50 sementes para cada lote, pesadas em balança de precisão de 0,001g, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com os resultados expressos em porcentagem.

3.3. Seleção dos níveis de envelhecimento artificial

Para obtenção de lotes de sementes envelhecidas, estas foram submetidas ao processo de envelhecimento artificial. O procedimento foi realizado com sete sub-amostras de aproximadamente 42g de sementes de soja, distribuídas de maneira que fosse possível preencher, em camada uniforme e única, toda a superfície de uma tela metálica que isola as mesmas do contato com a água em caixas plásticas tipo gerbox (11 x 11 x 3 cm) contendo 40 mL de água destilada. Tampadas, as caixas foram acondicionadas em câmara à 42°C (DUTRA;VIEIRA, 2004). Para verificar o comportamento da cultivar diante dos diferentes períodos de exposição ao processo de envelhecimento artificial, as sub-amostras foram submetidas a sete diferentes períodos de exposição: 24hs, 36hs, 48hs, 60hs, 72hs, 84hs e 96hs.

Posteriormente, as sementes foram avaliadas quanto à porcentagem de germinação em papel e quanto ao teor de água, com a mesma metodologia descrita anteriormente (sub-item

3.2.1. e sub-item 3.2.3). Também foi avaliada a visualização de micélio fúngico sobre a camada de sementes no momento de retirada das caixas plásticas da câmara.

Para montagem do experimento principal foram selecionados os períodos de 36, 60 e 72 horas de exposição.

3.4. Obtenção de lotes com três níveis de deterioração por envelhecimento artificial

Após análise dos resultados da avaliação preliminar, novo lote de sementes, inicialmente livre de danificação, foi dividido em três grupos de aproximadamente 1.400 sementes. Cada grupo, separadamente, teve suas sementes distribuídas em cinco caixas plásticas tipo gerbox (11 x 11 x 3 cm) contendo 40 mL de água destilada, em camada uniforme e única sobre uma tela metálica que isola as mesmas do contato com a água. Tampadas, as caixas foram acondicionadas em câmara à 42°C (DUTRA;VIEIRA, 2004). As sementes do primeiro grupo permaneceram expostas a este processo de envelhecimento artificial pelo período de 36 horas, o segundo durante 60 horas e o terceiro durante 72 horas. Dessa forma, foi possível obter três diferentes lotes, com três diferentes níveis de envelhecimento.

Para realização dos testes de condutividade elétrica e emergência em campo, as sementes foram acondicionadas em bacias plásticas cobertas apenas por tela metálica para evitar danificação por insetos, sendo assim submetidas a um processo de secagem natural por 4 dias até atingirem teores de água de aproximadamente 12%. Para os demais testes, em que o teor de água não é considerado fator de alteração de resultados, foram utilizadas sementes recém retiradas das caixas plásticas.

3.5. Obtenção dos lotes com dano mecânico

Carbonel et al. (1998) desenvolveram um dispositivo para induzir danos mecânicos às sementes de soja, de tal maneira que um método simples e rápido, como tetrazólio ou teste de hipoclorito de sódio pudessem detectar. O dispositivo foi construído basicamente de três componentes principais: a) um pêndulo em forma de martelo, que causa o impacto nas sementes; b) uma placa de metal recortada, que serve para abrigar as sementes a serem impactadas; c) uma estrutura de madeira para suportar os componentes do dispositivo (Figura 3).

As sementes foram submetidas ao impacto do pêndulo, de massa total de 0,25 kg, posicionado em alturas de 11, 13 e 14,5 cm. A energia cinética correspondente a cada uma dessas alturas foi calculada a partir da fórmula (1):

$$(1) PE = KE = w.g.h$$

Onde:

PE = energia potencial (joule);

KE = energia cinética (joule);

w = massa do pêndulo (0.25 kg);

g = aceleração da gravidade (9.8 m/s²) e

h = altura de queda livre do pêndulo

Dessa forma, as sementes foram individualmente distribuídas em alvéolos de um disco metálico e impactadas com energias cinéticas de 0,2695 J, 0,3185 J e 0,3552 J, sobre o cotilédone ou sobre o eixo embrionário.

Foram separados seis grupos de 1400 sementes. Em três destes grupos, o impacto foi realizado sobre cotilédone da semente, sendo que cada um deles com uma intensidade: Lote 1a - 11cm (0,2695 J), Lote 2a - 13cm (0,3185 J) e Lote 3a - 14,5cm (0,3552 J). O mesmo procedimento e distribuição foi realizado com o impacto sendo realizado sobre o eixo embrionário das sementes, nos demais três grupos restantes, obtendo-se assim: Lote 1b - 11cm (0,2695 J), Lote 2b - 13cm (0,3185 J) e Lote 3b - 14,5cm (0,3552 J).

As sementes que durante o processo de causa de dano chegaram a ser partir com o impacto do pêndulo foram quantificadas, obtendo assim um resultado de porcentagem de sementes partidas por tratamento. As sementes partidas foram retiradas das amostras utilizadas para montagem dos testes de qualidade fisiológica. Dessa forma, os resultados obtidos no presente trabalho são relativos apenas às sementes que se mantiveram com um mínimo de estrutura a ponto de não serem descartadas em um processo de beneficiamento, como “bandinhas”.

Após serem submetidas ao impacto do pêndulo, as sementes foram avaliadas pelo Teste de dano mecânico com hipoclorito de sódio a 5%, segundo Krzyzanowski et al. (2004b), como forma de confirmação das avaliações visuais.

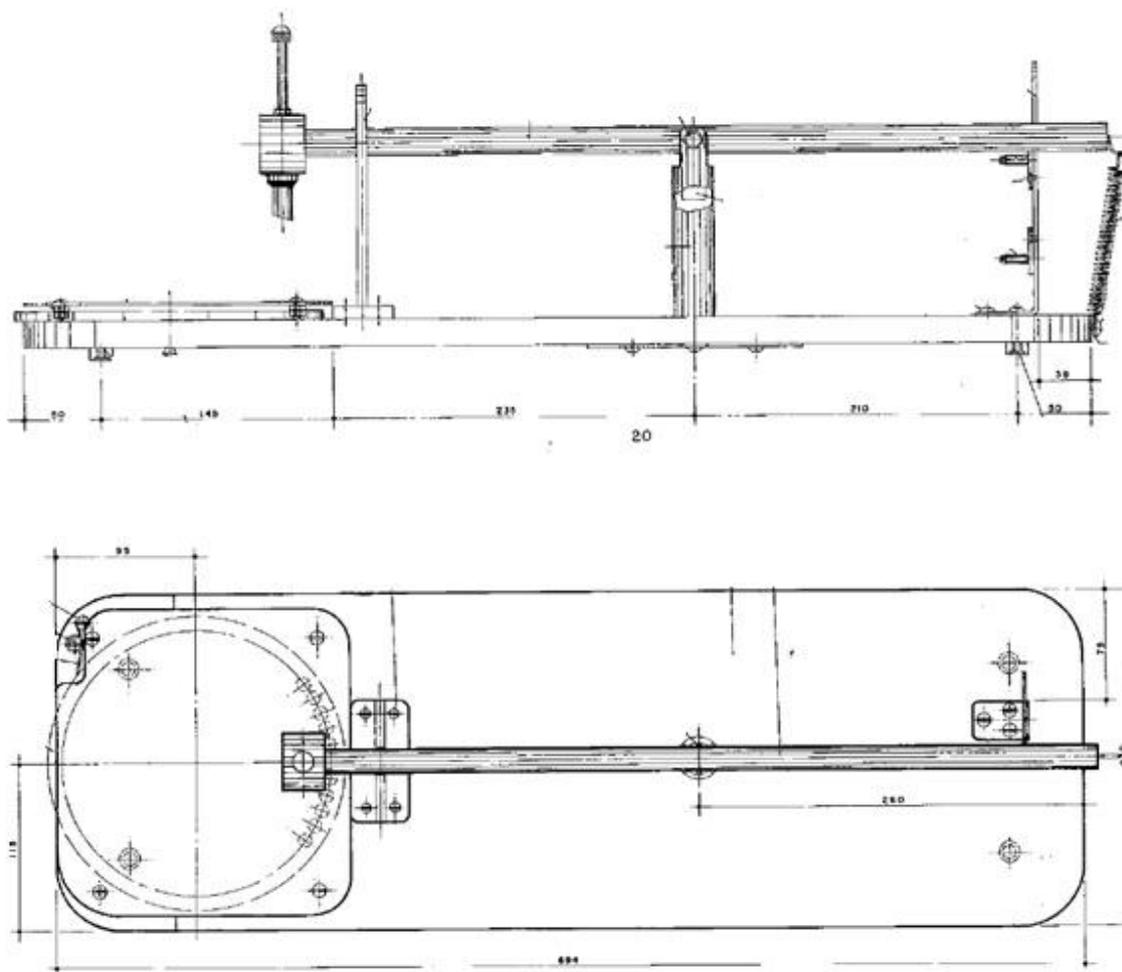


Figura 3 – Croqui do pêndulo, visão lateral (martelo) e superior (disco metálico) (CARBONEL et al.,1998).

3.6. Confirmação da ocorrência dos danos

Para conhecer os efeitos do processo de envelhecimento artificial nos lotes submetidos a condições de excesso de umidade e temperatura, assim como a ausência deste tipo de danificação na testemunha e nos lotes que sofreram impactos mecânicos, foram realizados testes de determinação de teor de água (vide metodologia no sub-item 3.2.3.) nas amostras de todos os lotes de sementes.

Para confirmar a real ocorrência de dano mecânico nos lotes submetidos a impactos do pêndulo, como também a ausência destes na testemunha e nos lotes submetidos ao processo de envelhecimento artificial, foram realizados testes de avaliação de dano mecânico com hipoclorito a 5% (vide metodologia no sub-item 3.2.2.) nas amostras de todos os lotes de sementes.

O teste de tetrazólio, realizado para avaliação de qualidade fisiológica (vide metodologia no sub-item 3.7.4.), também forneceu informações sobre a ocorrência de danos mecânicos, danos por umidade e danos por percevejo nas sementes de cada um dos lotes.

3.7. Avaliação da qualidade fisiológica (germinação e vigor)

Para analisar os efeitos das diferentes intensidades e tipos de danos nas sementes de soja, estas foram submetidas às seguintes avaliações de viabilidade e vigor: teste padrão de germinação em papel (TPGP) e em areia (TPGA), comprimento de plântulas (CPL), índice de velocidade de germinação (IVG), teste de tetrazólio (TZ), emergência em campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE) e teste de condutividade elétrica (CE).

3.7.1. Teste padrão de germinação, em papel e areia

Foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes por amostra, em rolo de papel toalha, embebido em água na quantidade de 2,5 vezes o peso do substrato seco, a 25°C e em areia, previamente esterilizada com adição periódica de água em quantidade suficiente para suprir as sementes e plântulas continuamente e permitir a aeração adequada para possibilitar a germinação e crescimento das raízes (BRASIL, 2009). Foi realizada contagem de plântulas normais ao 5º dia.

3.7.2. Comprimento de plântula

Ao final do teste de germinação, foi medido o comprimento desde o início do hipocótilo até o final da raiz primária de cada uma das plântulas normais de cada repetição, utilizando-se uma régua graduada em centímetros (NAKAGAWA,1999). Para a análise estatística dos dados, foram utilizados os valores médios obtidos.

3.7.3. Índice de velocidade de germinação

Foi realizado em conjunto com o TPGA, no qual o índice de velocidade de germinação para cada tratamento foi calculado segundo fórmula proposta por Maguire (1962), apresentada a seguir (2).

$$(2) \text{ IVG} = \frac{N1}{D1} + \frac{N2}{D2} + \frac{N3}{D3} + \dots + \frac{Nn}{Dn}$$

Onde:

IVG = Índice de velocidade de germinação;

N1,N2,N3...Nn = número de plântulas germinadas a 1,2,3...,n dias após a semeadura, respectivamente.

D1,D2,D3...Dn = número de dias após a implantação do teste

3.7.4. Teste de tetrazólio

Os testes foram realizados em 100 sementes de cada lote/tratamento, divididas em duas sub-amostras de 50 sementes. As sementes foram inicialmente distribuídas em papel-de-filtro umedecido e colocadas no germinador por 16 horas à temperatura de 25°C (pré-condicionamento). Após o pré-condicionamento as sementes foram colocadas em copinhos plásticos e submersas na solução de tetrazólio a 0,075%, a seguir colocados em uma estufa, livre de contato luminoso a 40°C por 3 horas. Após este período as sementes foram retiradas do germinador, lavadas com água corrente e depois mantidas submersas em água até serem avaliadas. Com auxílio de uma lâmina de barbear fez-se um corte longitudinalmente através do eixo embrionário, separando a semente em duas metades. A seguir o tegumento foi removido, observando-se as superfícies externas e internas dos cotilédones procurando-se todos os tipos possíveis de danos como: danos mecânicos, danos por percevejos e por umidade. A ficha de avaliação do teste de tetrazólio foi preenchida de acordo com os danos encontrados em cada semente analisada. As sementes foram classificadas individualmente em classes de viabilidade de 1 a 8, sendo o valor total encontrado entre as categorias de 1 a 3 referentes ao vigor e entre as categorias de 1 a 5, referentes à viabilidade.

O nível de vigor (1 a 3) pode ser interpretado através da seguinte classificação:

- vigor muito alto: igual ou superior a 85%
- vigor alto: entre 84% e 75%
- vigor médio: entre 74% e 60%
- vigor baixo: entre 59% e 50%
- vigor muito baixo: igual ou inferior a 49%.

Os valores obtidos para viabilidade devem receber a mesma interpretação dos alcançados no teste de germinação. As porcentagens de danos mecânicos, deterioração por

umidade e danos de percevejo nos níveis 6 a 8 indicam a porcentagem de perda de viabilidade ocasionada pelos referidos danos, sendo consideradas com relação à qualidade de semente como: sem restrição: inferior a 6%; problema sério: entre 7% a 10%; problema muito sério: superior a 10%. (FRANÇA NETO et al., 1998a).

3.7.5. Emergência em Campo

A semeadura foi realizada manualmente, em área cedida na Fazenda Água Limpa – FAL, com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, sendo as parcelas distribuídas ao acaso espaçadas 50 cm entre linhas. As contagens das plântulas foram iniciadas a partir do dia em que as primeiras plântulas emergiram (5º dia), e seguiram sendo realizadas de dois em dois dias até a estabilização (NAKAGAWA, 1994). O resultado foi expresso em porcentagem.

3.7.6. Índice de velocidade de emergência

O IVE foi obtido durante a condução da emergência das plântulas em campo, seguindo-se as recomendações de Nakagawa (1994), em que foi computado o número de plântulas normais da primeira até a última contagem junto com o respectivo dia da contagem, esses valores foram aplicados dia-a-dia na fórmula (3) para se obter a média dentro de cada repetição:

$$(3) \text{IVE} = \frac{N1}{D1} + \frac{N2}{D2} + \frac{N3}{D3} + \dots + \frac{Nn}{Dn}$$

Onde:

IVE = Índice de velocidade de emergência;

N1,N2,N3...Nn = número de plântulas emergidas a 1,2,3...,n dias após a semeadura, respectivamente.

D1,D2,D3...Dn = número de dias após a implantação do teste.

3.8. Teste de condutividade elétrica

Para que fosse possível correlacionar os testes de avaliação da qualidade fisiológica com o teste de condutividade elétrica, todos os lotes de sementes com diferentes tipos e intensidades de dano foram submetidos ao teste de condutividade elétrica segundo a seguinte metodologia. Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, previamente pesadas em

balanças com 0,001 de precisão, colocadas para embeber em copos plásticos (200 mL) contendo 75 mL de água deionizada e mantidas a 25°C por 24 horas (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). Decorrido o período de embebição, foi feita a leitura da condutividade elétrica, utilizando-se um condutivímetro DIGIMED, modelo CD21, com eletrodo de constante 1.0, sendo os resultados finais expressos em “micro Siemens por centímetro por grama - $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ”.

3.9. Análise estatística

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, sendo adotado delineamento inteiramente casualizado (BANZATTO; KRONKA, 1995). Os dados foram analisados pelo software “ASSISTAT”, Versão 7.7 Beta, desenvolvido pelo prof. Dr. Francisco de Assis Santos e Silva, DEAG/CTRN/UFCG Campina Grande/Paraíba.

Foram gerados, segundo cada grupo de dano (Envelhecimento Artificial - EA, Dano Mecânico sobre Cotilédone - DMC e Dano Mecânico sobre Eixo Embrionário - DME), modelos de regressão lineares para a estimativa das características analisadas: TPG Papel, TPG Areia, TZ Viabilidade, TZ Vigor e Emergência em Campo, tendo todas como variável explicativa: Condutividade Elétrica. Para se verificar a adequabilidade dos modelos estimados, foram efetuados diagnósticos para a verificação da normalidade, homogeneidade da variância e independência dos resíduos. Para verificação da qualidade de ajustamento foi utilizado o coeficiente de determinação (R quadrado). Foi aplicado o método estatístico das Variáveis Dummy discutido por Magalhães (2013), utilizado nas comparações de modelos de regressão. Foi admitido o nível de significância de 0.05 para todos os testes estatísticos. Todos os procedimentos foram realizados pelo programa estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão 19.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Seleção dos níveis de envelhecimento artificial

Os testes preliminares de níveis de envelhecimento artificial visaram avaliar a resposta das sementes da cultivar BMX Potência RR a diferentes períodos de exposição a condições de envelhecimento, em relação à porcentagem de germinação, ou seja, sua viabilidade. Os

valores de teor de água das sementes após o período de envelhecimento artificial mostraram que realmente houve um processo de absorção de água pelas sementes, e conseqüentemente, um processo diferente de deterioração com a crescente embebição. É importante comparar os teores de água antes e após o processo de envelhecimento para verificar se as sementes embeberam com eficiência. Dessa forma, foi possível observar que o teor de água aumentou proporcionalmente ao aumento do período de exposição, devido a uma maior quantidade de água evaporada e absorvida pelas sementes (Tabela 1).

Tabela 1. Valores do teor de água e da germinação em papel, realizados em sementes de soja submetidas a períodos de 24, 36, 48, 60, 72, 84 e 96 horas de envelhecimento artificial em estufa a 41°C em caixas plásticas contendo água destilada, e visualização de fungos sobre a camada de sementes.

PERÍODO	TEOR DE ÁGUA (%)	TPG PAPEL (%)	VISUALIZAÇÃO DE FUNGOS
0	11,39 f	99,0 a	Não
24 horas	23,29 e	83,0 b	Não
36 horas	25,57 d	73,5 c	Não
48 horas	25,65 d	64,5 d	Não
60 horas	27,25 c	36,0 e	Não
72 horas	28,91 b	10,0 f	Não
84 horas	30,93 a	3,0 g	Sim
96 horas	31,17 a	0,0 g	Sim
Teste F	1496,78*	900,51*	
DMS**	0,91	6,07	
CV %	0,91	5,63	

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

* Valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

** Tukey 5%

Observando os resultados do teste padrão de germinação neste experimento preliminar, pôde-se notar que o potencial de germinação das sementes diminui quanto maior o período de exposição a condições de alta temperatura e umidade. A testemunha apresentou alto valor de germinação (99%) (Tabela 1), o que significa que as sementes em seu estado inicial apresentaram alta viabilidade.

Para formação dos lotes de sementes com três diferentes níveis de deterioração foram selecionados os períodos de exposição de 36 horas (73,5%), 60 horas (36%) e 72 horas (10%) (Tabela 1), além da testemunha zero horas (99%), uma vez que satisfaziam aos critérios de serem consideravelmente diferentes entre si e da testemunha, além de não apresentarem

desenvolvimento fúngico no interior das caixas plásticas. A presença de fungos sobre as sementes poderiam afetar consideravelmente os resultados dos testes posteriores, pois, além de interferir negativamente na qualidade fisiológica das sementes, poderia distorcer os resultados do teste de condutividade elétrica (Tabela 1).

O processo de deterioração por envelhecimento artificial, por submeter as sementes a condições de alta temperatura e umidade, torna o ambiente favorável a uma maior influência de fungos, como *Phomopsis* e/ou *Fusarium*, que podem afetar os resultados do processo de envelhecimento (HENNING; FRANÇA NETO, 1980; FRANÇA NETO et al., 1998b). Os resultados preliminares mostraram que, a partir de 84 horas de exposição a essas condições, foi possível detectar a presença de fungos formando um micélio acinzentado sobre as sementes em camada única no interior da caixa plástica.

Para formação dos lotes de sementes com três diferentes níveis de deterioração foram selecionados os períodos de exposição de 36 horas (73,5%), 60 horas (36%) e 72 horas (10%) (Tabela 1), além da testemunha zero horas (99%), uma vez que satisfaziam aos critérios de serem consideravelmente diferentes entre si e da testemunha, além de não apresentarem desenvolvimento fúngico no interior das caixas plásticas. A presença de fungos sobre as sementes poderiam afetar consideravelmente os resultados dos testes posteriores, pois, além de interferir negativamente na qualidade fisiológica das sementes, poderia distorcer os resultados do teste de condutividade elétrica (Tabela 1).

4.2. Confirmação da ocorrência de dano mecânico e dano por envelhecimento nos diferentes lotes obtidos

Os lotes de sementes de soja com diferentes níveis de envelhecimento artificial e de dano mecânico, sobre o cotilédone e sobre o eixo embrionário, foram avaliados quanto a sua qualidade fisiológica por oito diferentes testes, além do teste de condutividade elétrica, utilizado como variável explicativa. Antes porém das avaliações de qualidade, foram realizados teste de determinação do teor de água e teste dano mecânico com hipoclorito a 5% que evidenciaram a diferenciação entre os lotes danificados, deteriorados e a testemunha, assim como a efetividade do processo de causa de danos de ambas as naturezas.

Os resultados da testemunha expressam as condições iniciais das sementes que apresentaram teor de água de aproximadamente 11,4% e nenhuma semente inchada durante o dano mecânico com hipoclorito a 5%, o que representa ausência de dano mecânico (Tabela 2).

O fato de as sementes terem sido colhidas e beneficiadas manualmente para utilização na pesquisa justifica a ausência de danos mecânicos, pois, a colheita mecânica e o beneficiamento são as principais fontes de danos mecânicos em sementes. Na colheita, a semente de soja fica particularmente susceptível ao dano mecânico, imediato ou latente (PAIVA et al., 2000).

As sementes submetidas ao processo de deterioração por envelhecimento artificial apresentaram altos teores de água no momento em que foram retiradas das caixas plásticas 26,03%, 29,87% e 29,75% (Tabela 2). Os altos teores de água se devem ao processo de envelhecimento artificial em que as sementes absorvem água existente no interior da caixa plástica, que evapora devido à alta temperatura. Estes resultados comprovam a efetividade do processo de envelhecimento nessas sementes, uma vez que mostra que as sementes embeberam com eficiência. As sementes que sofreram danos mecânicos apresentaram teor de água entre 10,97% e 12,09%, valores similares ao teor de água da testemunha.

Tabela 2. Valores percentuais de teor de água, dano mecânico pelo teste de hipoclorito 5% e sementes partidas pelo impacto do pêndulo, realizados em sementes de soja submetidas a tratamentos com diferentes níveis de envelhecimento artificial e diferentes forças de impacto mecânico provocado sobre o cotilédone ou sobre eixo embrionário.

TRATAMENTO	TEOR DE ÁGUA (%)		DANO MECÂNICO (%)	SEMENTES PARTIDAS (%)
	Pré Secagem	Pós Secagem		
Testemunha	11,39 c		0 d	-
Env. Artificial	36h	26,02 b	10,53 c	1 d
	60h	29,87 a	10,67 c	1 d
	72h	29,74 a	10,64 c	0,5 d
Impacto sobre Cotilédone	0,2695J	10,97 c	57 c	2 d
	0,3185J	10,98 c	86 b	4 d
	0,3552J	11,01 c	100 a	10 c
Impacto sobre Eixo Embr.	0,2695J	11,38 c	100 a	27 b
	0,3185J	11,92 c	100 a	27 b
	0,3552J	12,09 c	100 a	53 a
Teste F	1616,21*		3201,56*	257,21*
DMS	1,16		4,76	5,38
CV %	1,78		2,21	11,84

¹ Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

* Valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

** Tukey 5%

Segundo Carvalho (1994) sementes de soja entram em equilíbrio higroscópico quando apresentam teor de água em torno de 8,8 a 10,6%, sob condições de umidade relativa do ar

variando entre 50 e 70% com temperatura em torno de 24°C. Para realização do teste de condutividade elétrica e emergência em campo, uma vez que a montagem deste último teste não pode ocorrer logo após à retirada das sementes da estufa, as sementes que sofreram dano por envelhecimento artificial foram submetidas a processo de secagem natural em condição ambiente, para que atingissem teores de água próximos ao equilíbrio higroscópico. Segundo Viera e Krzyzanowski (1999), em geral, tem-se verificado que teores de água muito baixos ou muito altos, apresentam influência significativa nos resultados da condutividade e que, portanto, devem ser ajustados para uma faixa de teor de água entre 10% e 17%. Dessa forma, de maneira geral, as sementes de todos os lotes se encontravam próximas à faixa de equilíbrio higroscópico e dentro da faixa recomendada, antes da realização do teste de condutividade elétrica.

Com relação aos resultados do teste de dano mecânico para os lotes de sementes que sofreram danos por envelhecimento artificial, estas apresentaram 0,5 e 1% de sementes inchadas no teste de hipoclorito (Tabela 2), o que representa praticamente ausência de dano mecânico e, dessa forma, fica descartada a possível influência desse tipo de dano nos demais resultados para os lotes de sementes envelhecidas.

As sementes que sofreram impacto do pêndulo, por sua vez, apresentaram altas porcentagens de sementes inchadas, confirmando assim a presença de danos mecânicos nessas sementes. As sementes submetidas a impactos com menores intensidades, 0,2695J e 0,3185J, no cotilédone (Tabela 2), apresentaram 57% e 86% de dano mecânico, pois além do impacto realizado pelo pêndulo ser menor, a região atingida é menos frágil, podendo assim, em alguns casos, não ter existido total rompimento do tegumento, característica que é predominantemente detectável pelo teste de dano mecânico com hipoclorito a 5%. De acordo com Krzyzanowski et al. (2004b) valores iguais ou superiores a 10% representam uma semente muito danificada podendo comprometer suas funções fisiológicas.

Segundo Barstch et al. (1986), a consequência do impacto mecânico sobre a semente de soja, varia de acordo com a posição de ocorrência do dano. As regiões do eixo embrionário, oposta ao hilo, oposta à região do eixo embrionário, do hilo e do lado da semente foram, nesta ordem, as posições que mais influenciaram para queda do vigor das sementes. Os danos causados sobre o eixo embrionário, em grande maioria, danificam a semente drasticamente, pois o impacto ao ser realizado sobre o eixo e na secção entre os dois cotilédones, em grande parte das vezes provoca rompimentos mais severos ao tegumento e desestruturação da própria semente.

Observando os dados de porcentagem de sementes partidas, apresentados na Tabela 2, pôde-se verificar que, para os tratamentos em que o impacto do pêndulo ocorreu sobre o cotilédone, a porcentagem de sementes partidas não ultrapassou 9,5%, enquanto nos tratamentos em que as sementes receberam o impacto do pêndulo sobre o eixo embrionário, foram verificados índices de 27 e 53% de sementes partidas durante o processo de causa de dano mecânico (Tabela 2). Estes dados corroboram com os trabalhos de França Neto et al (2007), que afirmam que sementes secas, ou seja, abaixo de 12%, tenderão a apresentar danos mecânicos imediatos, caracterizados por fissuras, rachaduras ou quebras. Sementes com conteúdo acima de 14% é mais suscetível aos danos mecânicos latentes, caracterizados por amassamento e abrasões. Como no presente trabalho as sementes sofreram danos mecânicos com teor de água entre 10 e 11%, aproximadamente, os resultados mostram grandes quantidades de sementes partidas quando o dano mecânico foi causado sobre o eixo embrionário e reafirmam que este dano quando ocorrido nesta localização é sempre mais severo que os danos mecânicos que ocorrem sobre o cotilédone, causando ruptura de até aproximadamente 50% das sementes atingidas (Tabela 2).

Para realização dos demais testes de avaliação de qualidade fisiológica nos tratamentos em que as sementes sofreram danos mecânicos foram mantidas apenas as sementes que permaneceram com o mínimo de estrutura, uma vez que as chamadas “bandinhas” não representam mais uma semente. Dessa forma, os demais resultados avaliaram o potencial fisiológico das sementes que sofrem danos mecânicos sobre o cotilédone e sobre o eixo embrionário, mas não foram descartadas durante os processos de beneficiamento, ou seja, que poderiam ser usadas para plantio.

De acordo com França Neto et al. (1998a), o teste de tetrazólio além de avaliar a viabilidade e o vigor dos lotes de sementes, fornece o diagnóstico das possíveis causas responsáveis pela redução de sua qualidade: danos mecânicos, deterioração por umidade e danos de percevejo, que são os problemas que mais comumente afetam a qualidade fisiológica da semente de soja.

A partir dos resultados expressos na tabela 3, obtidos por meio do teste de tetrazólio, é possível observar a presença de altos níveis de dano mecânico nas sementes que sofreram impacto do pêndulo, com valores de 20 a 59% para sementes atingidas no cotilédone, e de 58 a 74% em sementes atingidas no eixo embrionário, como também baixa incidência de danos por umidade e ausência de dano por percevejo.

Tabela 3. Valores percentuais de dano por umidade, dano mecânico e dano por percevejo, obtidos por meio de teste de tetrazólio realizado em sementes de soja submetidas a tratamentos com diferentes níveis de envelhecimento artificial e diferentes forças de impacto mecânico provocado sobre o cotilédono ou sobre eixo embrionário.

TRATAMENTOS	DANO MECÂNICO (%)	DANO POR UMIDADE (%)	DANO POR PERCEVEJO (%)
Testemunha	2 d ¹	6 d	0
Env.Artificial	36h	7 d	38 c
	60h	0 d	56 b
	72h	0 d	81 a
Impacto sobre Cotilédono	0,2695J	20 cd	1 d
	0,3185J	40 bc	3 d
	0,3552J	59 ab	1 d
Impacto sobre Eixo Embr.	0,2695J	58 ab	0 d
	0,3185J	74 a	0 d
	0,3552J	74 a	0 d
Teste F	74,31*	429,35*	
DMS**	20,19	7,91	
CV%	15,27	10,75	

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

* Valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

** Tukey 5%

Por meio destes resultados fica comprovado que o dano mecânico é a principal causa de perda de viabilidade e vigor nestes lotes de sementes. Da mesma forma, pôde-se observar que as sementes submetidas ao processo de envelhecimento apresentam alta incidência de dano por umidade, com valores que variam de 38 a 81% das sementes avaliadas, baixa incidência de dano mecânicos e ausência de danos por percevejo. Os altos valores de danos por umidade se devem ao processo de envelhecimento em que as sementes são submetidas a condições de alta temperatura e umidade.

4.3. Correlação entre condutividade elétrica e qualidade fisiológica

Inicialmente foi realizado um estudo de regressão visando uma análise comparativa entre a condutividade elétrica dos lotes e os demais testes de avaliação de viabilidade e vigor. Para cada causa de dano foi obtida uma regressão linear, e conseqüentemente uma equação de correlação no formato “ $y = ax + b$ ”, a partir de quatro pontos, sendo o primeiro deles comum a todos, pois representa a testemunha que por sua vez representa a condição inicial das sementes antes da sua danificação ou deterioração. Durante as análises estatísticas, o método

de regressão linear se mostrou mais adequada, pois apresentou os melhores valores do coeficiente de determinação (R^2).

Dessa forma, foram obtidos oito gráficos nos quais foram correlacionados cada um dos testes de qualidade fisiológica com a condutividade elétrica das sementes. Em cada gráfico podem ser observadas três retas que representam dano por envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME). Para cada reta foi obtida uma equação que permite, a partir do valor obtido no teste de condutividade (CE), encontrar um valor correspondente, para cada causa de dano, de: germinação em papel (TPGP), germinação em areia (TPGA), viabilidade pelo teste de tetrazólio (TZVB), vigor pelo teste de tetrazólio (TZVG), emergência em campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), índice de velocidade de germinação (IVG) e comprimento de plântulas (CPL). As figuras 6 a 13 apresentam a representação gráfica para as referidas correlações assim como as equações e coeficientes de determinação.

Como todos os testes de avaliação da qualidade fisiológica foram correlacionados com a condutividade elétrica, o grau de associação entre eles indica a sua capacidade de correlação, ou seja, indica se os resultados de condutividade elétrica realmente refletem os resultados de qualidade expressos por aquele teste. Para estas correlações todos os coeficientes de correlação “R” encontrados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, afirmando que o teste de condutividade elétrica é considerado um bom teste para análise da qualidade fisiológica de sementes de soja e que as correlações são válidas (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de correlação simples (R) entre a condutividade elétrica (CE) e os demais testes de qualidade fisiológica: germinação em papel (TPGP), em areia (TPGA), viabilidade em tetrazólio (TZVB) e vigor em tetrazólio (TZVG), emergência em campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), índice de velocidade de germinação (IVG) e comprimento de plântulas (CPL); para as diferentes causas de danos em sementes de soja: envelhecimento artificial, dano mecânico sobre o cotilédone e dano mecânico sobre o eixo embrionário.

Envelhecimento Artificial	TPG P	TPG A	TZVB	TZVG	EC	IVE	IVG	CPL
CE	-0,849*	-0,846*	-0,886*	-0,885*	-0,919*	-0,941*	-0,837*	-0,781*
Impacto sobre Cotilédone	TPG P	TPG A	TZVB	TZVG	EC	IVE	IVG	CPL
CE	-0,856*	-0,926*	-0,891*	-0,973*	-0,944*	-0,948*	-0,854*	-0,837*
Impacto sobre Eixo Embr.	TPG P	TPG A	TZVB	TZVG	EC	IVE	IVG	CPL
CE	-0,965*	-0,961*	-0,953*	-0,977*	-0,982*	-0,982*	-0,955*	-0,878*

* Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

De acordo com Marcos Filho (1999a) o processo de envelhecimento tem como base o fato de que a taxa de deterioração das sementes é aumentada consideravelmente através de sua exposição a níveis muito adversos de temperatura e umidade relativa, considerados os fatores ambientais preponderantes na intensidade e velocidade de deterioração.

Observando o gráfico de correlação entre germinação em papel e condutividade elétrica (Figura 4), verifica-se que as equações referentes às sementes com dano por envelhecimento artificial apresentam valores de “a” superiores aos valores observados nas equações para as demais causas de dano, fazendo com que a reta que a representa apresente maior inclinação. A partir dessa observação, é correto afirmar que o dano por envelhecimento é um dano que pelo teste de condutividade elétrica apresenta menores valores para uma grande perda de potencial de germinação, enquanto as sementes com danos mecânicos para o mesmo valor de condutividade, o valor correspondente de germinação é superior.

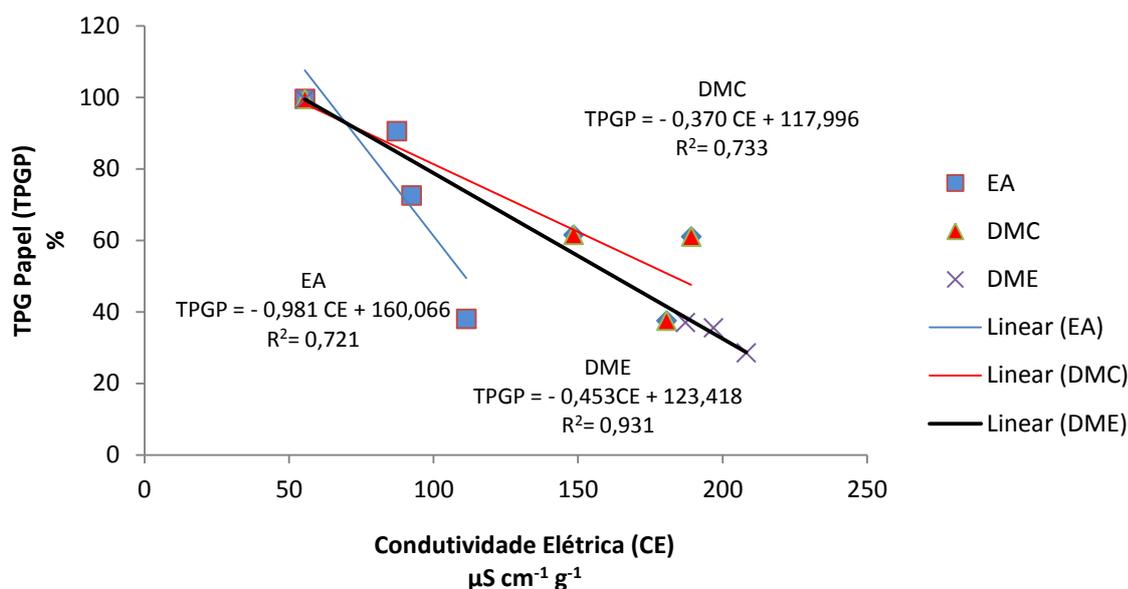


Figura 4 – Correlação entre germinação em papel (G) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

Os resultados do teste de germinação em areia (Figura 5) revelaram mesmo comportamento entre os diferentes lotes de sementes quando comparados entre si, com pequena variação entre os resultados obtidos no TPG em papel. A International Seed Testing Association (ISTA, 1985) orienta o uso da areia em substitutivo ao papel, mesmo que não esteja recomendada nas regras, quando a avaliação de uma amostra de sementes mostre-se impraticável devido à contaminação do substrato papel. Essa contaminação poderia ocorrer

principalmente nos testes montados com sementes dos lotes submetidos à deterioração por envelhecimento artificial, entretanto, neste caso, não foi evidenciada contaminação fúngica nos testes em papel. Como todos os testes foram montados concomitantemente, o TPG em areia foi realizado com o objetivo de confirmar os resultados obtidos no TPG papel e como precaução para caso de tal ocorrência.

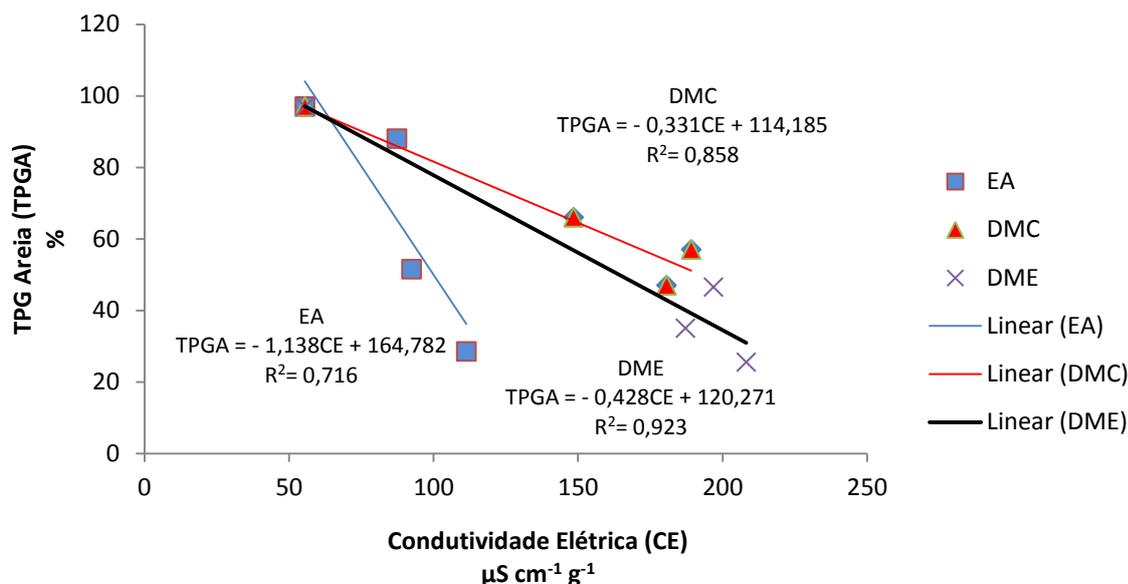


Figura 5 – Correlação entre germinação em areia (G) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

Da mesma forma, os resultados obtidos para avaliação de viabilidade por meio do teste de tetrazólio (Figura 6), corroboram com os valores obtidos nos demais testes para avaliação de sementes viáveis.

Os testes padrão de germinação em papel e em areia, assim como o teste de tetrazólio avaliam a capacidade de germinação das sementes, ou seja, sua viabilidade. Observados estes três primeiros gráficos, pôde-se notar um comportamento muito similar entre as sementes com mesma causa de dano em cada uma das correlações. A partir dessa observação, foi realizada análise estatística de comparação, pelo método Dummy, entre as retas referentes à mesma causa de dano para esses três testes. Os resultados obtidos confirmaram que as retas referentes a EA, DMC e DME nos gráficos de TPGP, TPGA e TZVB são estatisticamente iguais.

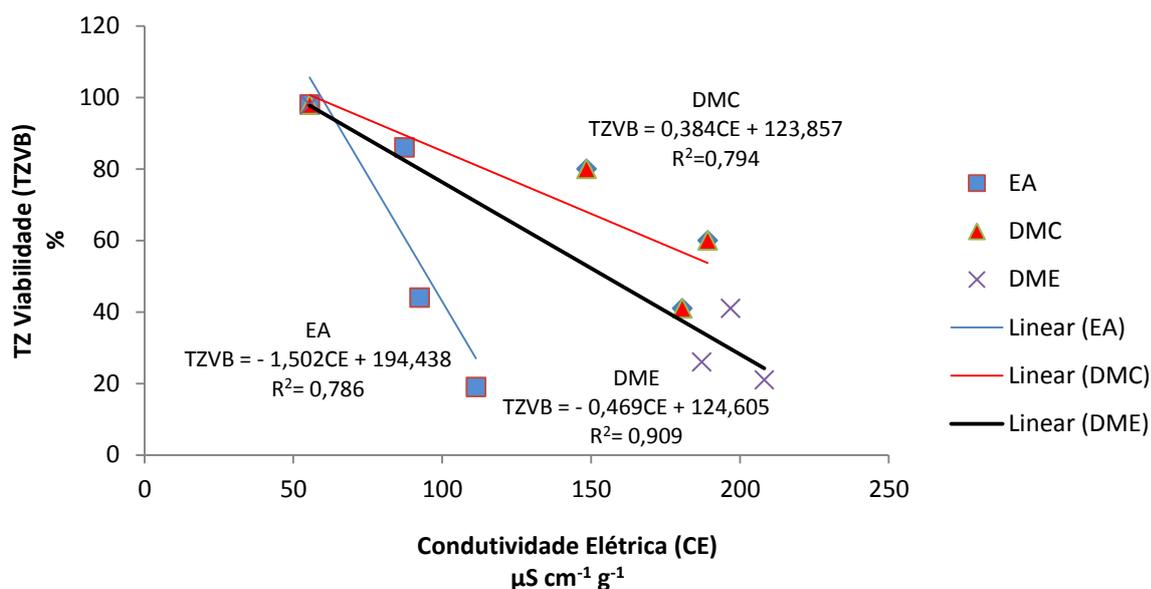


Figura 6 – Correlação entre viabilidade em tetrazólio (TZVB) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédono (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

Para as regressões obtidas nesses gráficos, os valores do coeficiente de determinação (R^2) variaram de 0,716 a 0,786 para dano por envelhecimento artificial, de 0,733 a 0,856 para dano mecânico sobre o cotilédono, e de 0,909 a 0,931 para dano mecânico sobre o eixo embrionário, evidenciando que os modelos apresentaram regressões válidas, e que o teste de condutividade elétrica se correlacionou com grande ajuste com os demais testes de avaliação de viabilidade de sementes com diferentes causas de dano.

Também foi identificado comportamento similar entre as sementes com mesma causa de dano quando são observados os resultados obtidos nas análises de regressão de correlação entre a condutividade elétrica e os testes de avaliação de vigor. Da mesma forma que a viabilidade, o dano por envelhecimento resultou em retas com maior inclinação, quando comparadas às retas de DMC e DME (figuras 7 a 11).

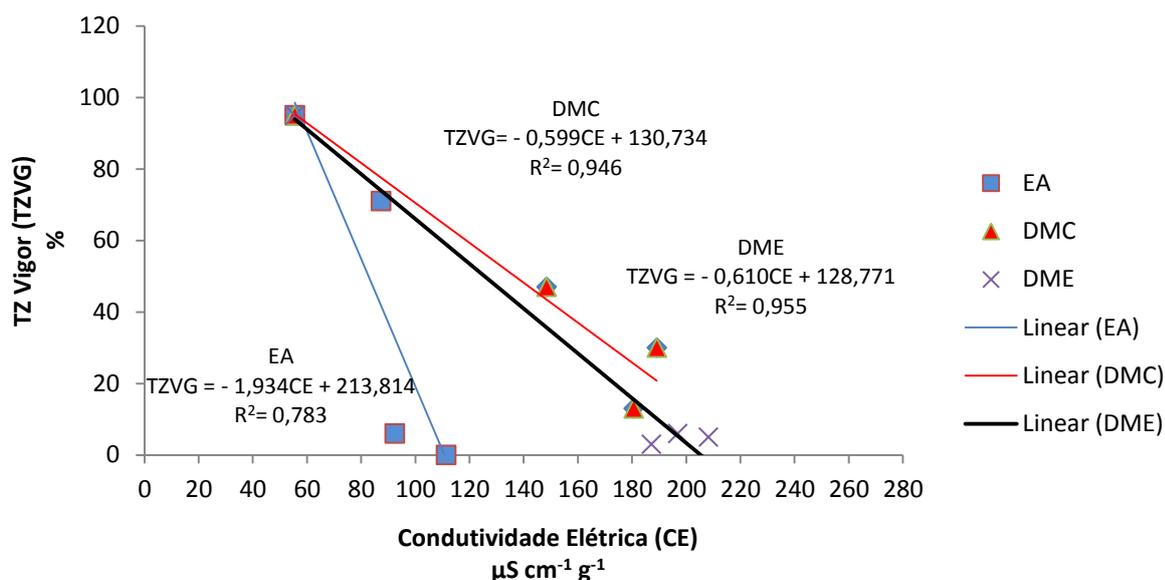


Figura 7 – Correlação entre Vigor em tetrazólio (TZVG) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

Tekrony e Egli (1991) destacaram que a utilização de sementes de elevado vigor é justificada em todas as culturas para assegurar adequada população de plantas em variadas condições de campo durante a emergência das plântulas e, até, possibilitar produção satisfatória mesmo quando a população de plantas é inferior à requerida. O teste de emergência em campo é realizado para avaliação de vigor de sementes justamente por simular o desempenho desses materiais em campo. Rossetto et al. (1997) referiram-se à falhas na emergência de plântulas, ou mesmo redução da velocidade do processo, como consequência do baixo vigor associado à deterioração das sementes. Muitas vezes, o efeito das condições adversas não é percebido sobre a germinação das sementes, mas pode ser detectado ao avaliar-se o vigor destas.

As sementes dos lotes com dano mecânico sobre o cotilédone e sobre o eixo embrionário, apresentaram valores de emergência muito inferiores aos de germinação, o que reflete grande perda de vigor, entretanto o comportamento das retas de correlação foi similar. Segundo Popinigis (1985) e Vieira (1988), *apud* Schuab et al (2006), o teste de germinação tem sido amplamente utilizado na avaliação da qualidade de diferentes lotes de sementes. Entretanto esse teste é realizado em condições controladas de umidade, temperatura e aeração. Dessa maneira, nem sempre uma alta porcentagem de germinação em laboratório resulta em um excelente desempenho no campo. Isso é devido à ocorrência da diversidade de condições

ambientais em que as sementes estão sujeitas no campo e que podem afetar, em maior ou menor escala, o estabelecimento inicial da cultura.

Observando os resultados das análises referentes ao índice de velocidade de emergência (Figura 9), nota-se que o desempenho das sementes dos diferentes lotes foi similar ao observado nos resultados de emergência em campo, o que já era esperado uma vez que estes testes estão relacionados. O mesmo ocorre entre os gráficos de correlação TPGP *versus* CE (Figura 4) e IVG *versus* CE (Figura 10).

O teste de comprimento de plântulas tem como base o princípio de que lotes de sementes que originam plântulas com maior comprimento são mais vigorosos (Nakagawa, 1999), uma vez que a análise do crescimento de plântulas pode ser mensurada por meio de grandezas físicas, impossibilitando a subjetividade do analista na inferência dos resultados. De acordo com Dan et al. (1987), citado por Guedes et al (2009), isso ocorre devido ao fato das sementes mais vigorosas originarem plântulas com maior taxa de crescimento, em função da maior translocação das reservas dos tecidos de armazenamento para o crescimento do eixo embrionário.

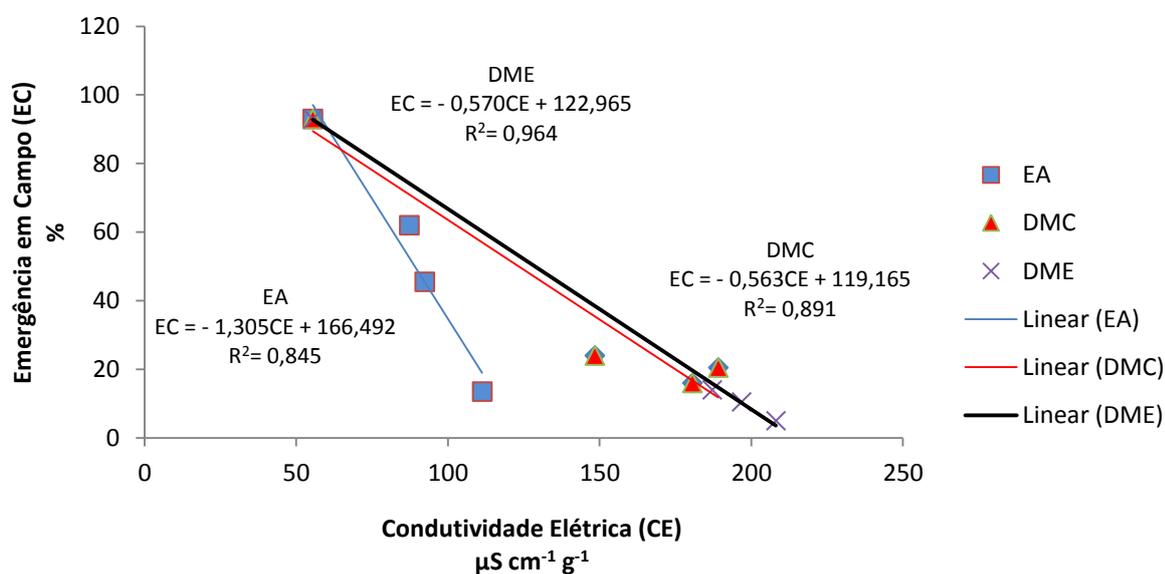


Figura 8 – Correlação entre emergência em campo (EC) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

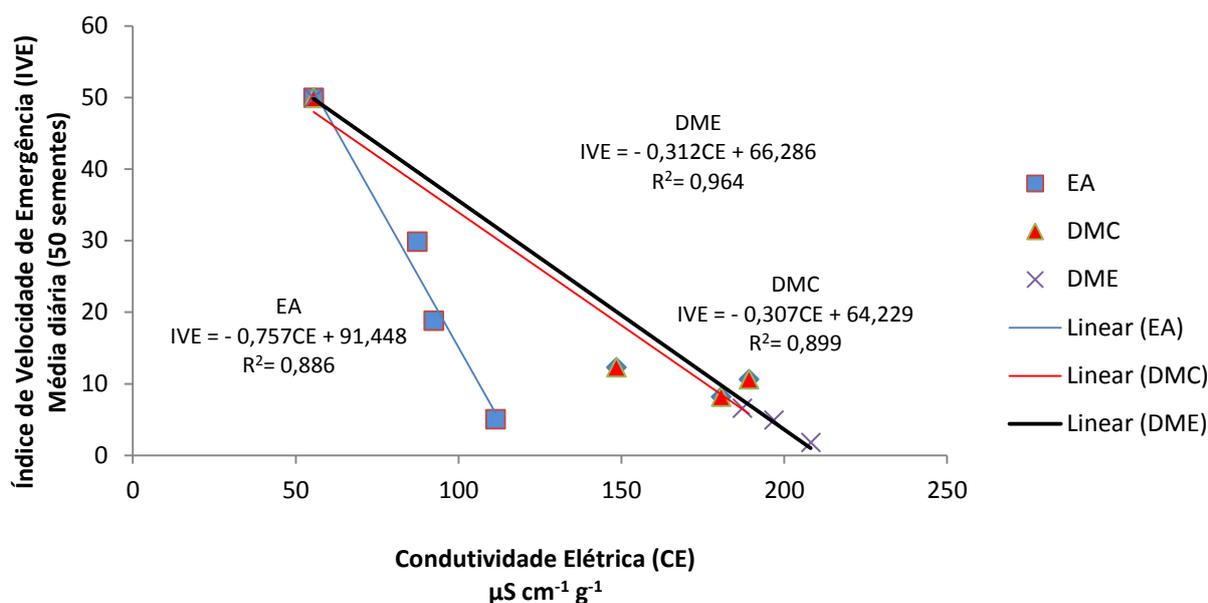


Figura 9 – Correlação entre o índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

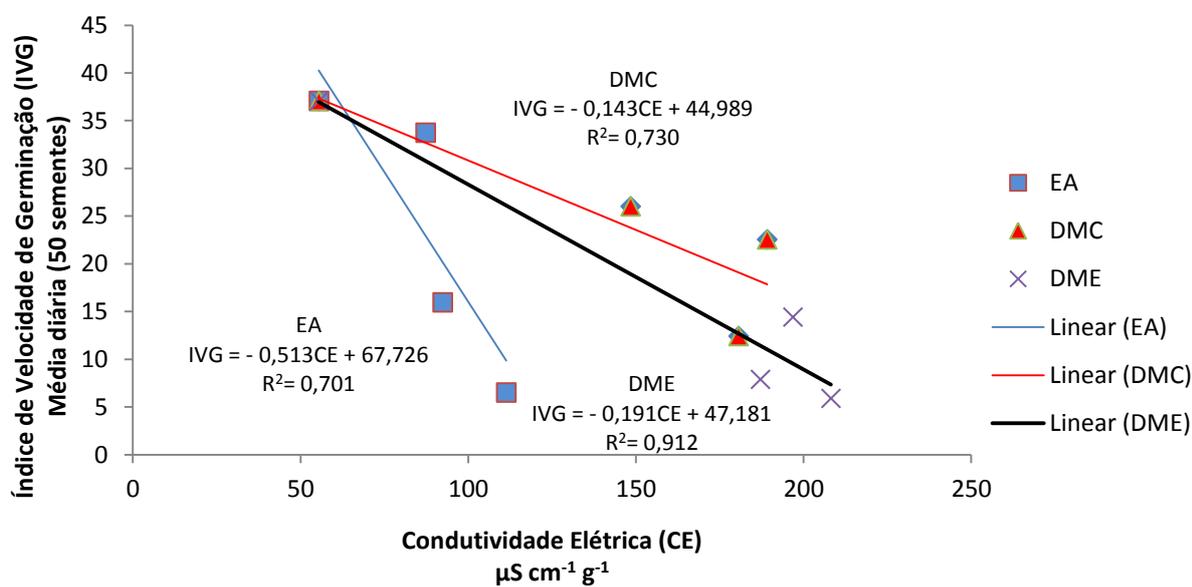


Figura 10 – Correlação entre o índice de velocidade de germinação (IVG) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

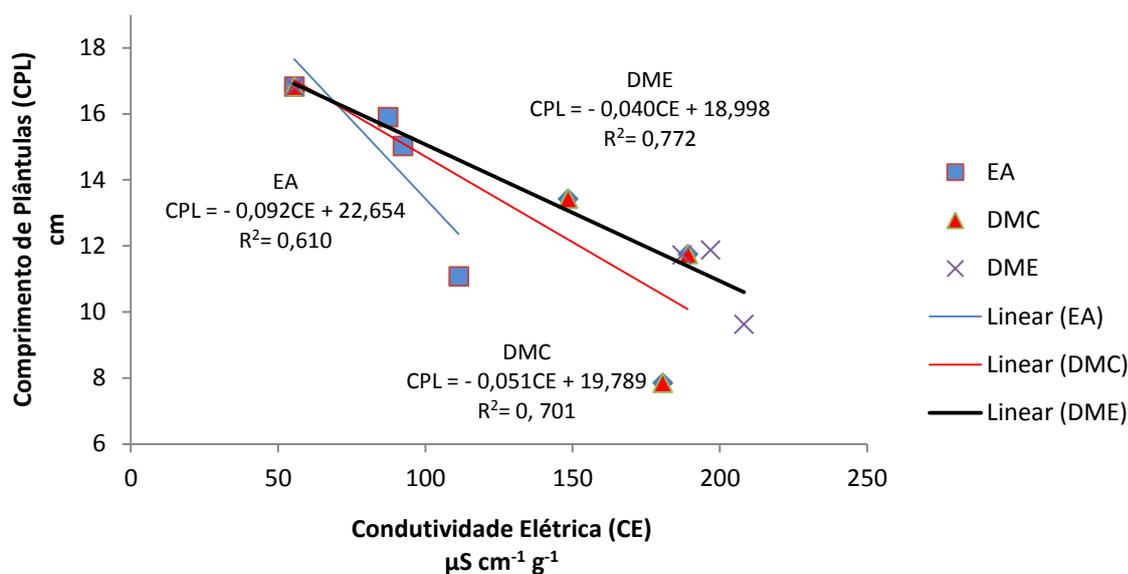


Figura 11 – Correlação entre o comprimento de plântulas (CPL) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

Para as regressões obtidas nesses gráficos de correlação da condutividade elétrica e demais testes de vigor, os valores do coeficiente de determinação (R^2) se mostraram significativos, variando de 0,6 a 0,96, afirmando a validade das regressões. Os valores R^2 mais baixos observados foram encontrados na correlação da condutividade elétrica com comprimento de plântulas (Figura 11), em que os valores de R^2 variaram entre 0,61 e 0,77. Costa et al (1999) afirmaram que seria plausível admitir que uma resposta morfológica à falta de espaço para o crescimento das plântulas também pudesse estar ocorrendo no teste de comprimento de plântulas, identificado na presença de plântulas com hipocótilos reduzidos e com maior expansão radial.

Foloni et al. (2006), por sua vez, concluíram que o tamanho das sementes também poderia afetar o desenvolvimento em comprimento das plântulas, pois sementes maiores, na fileira superior, poderiam formar uma barreira física mais fechada ao crescimento das plântulas da fileira inferior, do que sementes de menor tamanho, já que o tamanho médio das sementes aumenta após a hidratação. Dessa forma, é possível que um processo similar possa ocorrer com os hipocótilos das plântulas da fileira inferior de sementes, em detrimento da resistência física ao seu crescimento, gerado pela fileira superior de plântulas de soja.

De acordo com a AOSA (1983) as informações obtidas nesses testes de vigor de sementes devem ser interpretadas levando-se em consideração, além do comprimento de

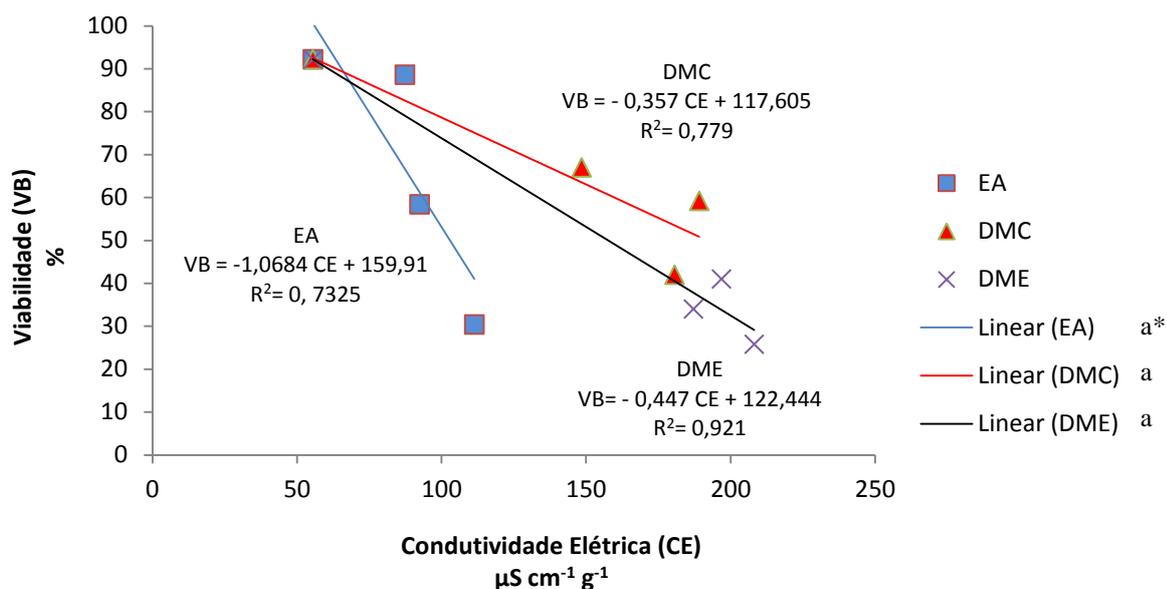
plântula ou parte dela, também o percentual de germinação. Isto se deve ao fato de que alguns lotes podem apresentar germinação maior, cujas plântulas são de tamanho menor e vice-versa. Diante disso, pode-se entender que a correlação condutividade elétrica e comprimento de plântulas tenha resultado em R^2 inferiores, pois essa característica pode ser influenciada por vários fatores ou variáveis além das envolvidas em ambos os testes.

Para uma melhor visualização da correlação que existe entre a condutividade elétrica e a qualidade fisiológica de sementes de soja, foram obtidos modelos que correlacionam a característica viabilidade e a característica vigor com a condutividade elétrica, uma vez que esses são os dois componentes do conceito de qualidade fisiológica de sementes.

Para obtenção dos modelos e equações de correlação entre **viabilidade** e condutividade elétrica (Figura 12) foi realizada a condensação das três retas que correlacionam a condutividade elétrica com a germinação, em papel (Figura 4) e em areia (Figura 5), e a viabilidade pelo teste de tetrazólio (Figura 6) para cada uma das três causas de dano: EA, DMC e DME. Isso pôde ser feito a partir de análise estatística de comparação de modelos, pelo método Dummy, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$), que provou que estas retas eram estatisticamente iguais para as três causas de dano e assumindo que estes três testes avaliavam a mesma característica, no caso a viabilidade, com valores expressos na mesma unidade, porcentagem.

Para confirmar a existência de diferença estatística entre as três causas de dano em sementes de soja em relação à interpretação dos resultados de correlação entre viabilidade e condutividade elétrica, foi realizada a comparação estatística entre as equações que determinam EA, DMC e DME (Figura 12). Os resultados mostraram que os três modelos são estatisticamente diferentes entre si, pelo método Dummy, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Isto permite afirmar que a causa do dano em sementes de soja influencia na interpretação dos resultados da condutividade elétrica em sementes de soja para a característica de viabilidade, ou seja, potencial de germinação; assim como a localização de ocorrência do dano mecânico.

Para as regressões obtidas neste gráfico (Figura 12), os valores do coeficiente de determinação (R^2) de 0,73 para EA, 0,77 para DMC e 0,92 pra DME, evidenciando que os modelos apresentaram regressões válidas, e que o teste de condutividade elétrica se mostrou eficiente para avaliar a viabilidade de sementes com diferentes causas de dano.



* Lineares seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo método das variáveis Dummy, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

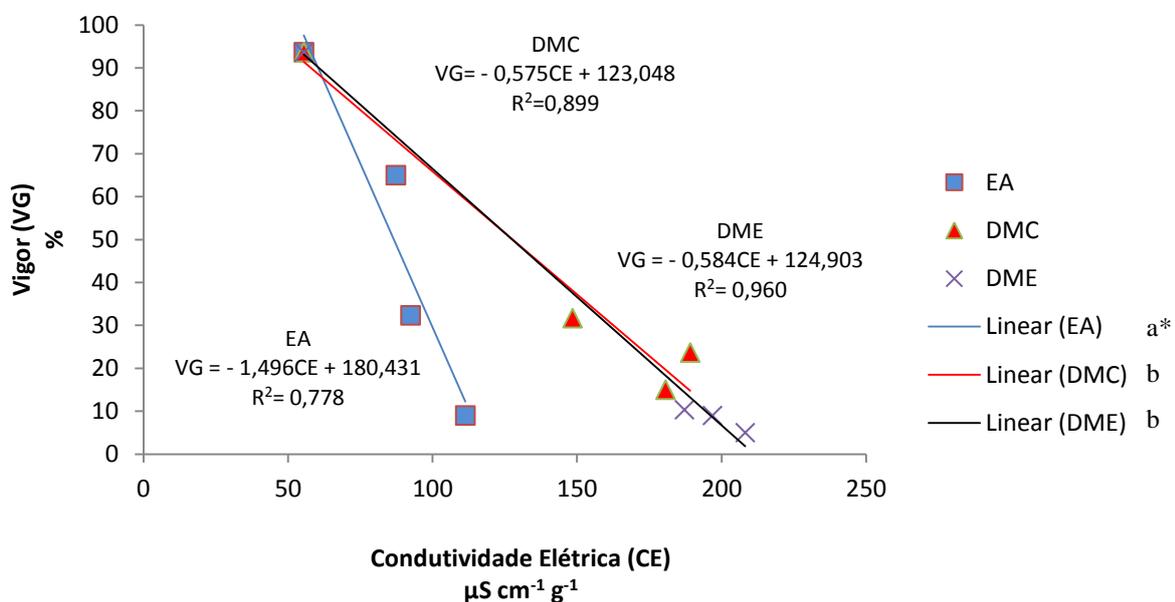
Figura 12 – Correlação entre a viabilidade (VB) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

As porcentagens de germinação ou viabilidade de sementes de soja com dano por envelhecimento ou por exposição a condições de excesso umidade e alta temperatura, dano mecânico sobre o cotilédone e dano mecânico sobre o eixo embrionário, puderam ser determinadas a partir de valores de condutividade elétrica por meio das equações $VB = -1,0684CE + 159,91$, $VB = -0,357CE + 117,605$ e $VB = -0,447CE + 122,444$, respectivamente; onde VB = Viabilidade, em porcentagem, e CE = Condutividade elétrica, em $\mu S \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

De maneira similar ao que foi realizado com o parâmetro viabilidade, também foi obtida uma análise de regressão para o parâmetro **vigor**, por meio da condensação de curvas dos testes que avaliam esse potencial. Entretanto, diferentemente dos testes de avaliação de viabilidade, os cinco testes realizados avaliam o potencial de vigor das sementes de diferentes formas, com diferentes mensurações. Enquanto o teste de tetrazólio (TZVG) e a emergência em campo (EC) fornecem resultados de vigor diretamente em porcentagem, os índices de germinação e emergência fornecem resultados para avaliação do vigor por meio de valores médios de sementes germinadas ou emergidas para amostras de 50 sementes em função do tempo.

O teste de comprimento de plântulas (CPL) por sua vez, fornece informações de vigor por meio de medidas em centímetros. Diante disso, para condensação em uma só reta que representasse o vigor das sementes correlacionado com a condutividade elétrica foram utilizadas apenas os modelos referentes ao teste de tetrazólio (Figura 7) e emergência em campo (Figura 9), uma vez que ambas são expressas em porcentagem, podendo assim fornecer informações mais concretas para esse parâmetro de qualidade fisiológica, que é o vigor (Figura 15). No entanto, as retas obtidas para a correlação da condutividade elétrica com os demais testes de vigor, reafirmam o comportamento das sementes com diferentes causas de dano em relação ao aumento dos resultados de condutividade elétrica à medida que há perda de vigor, uma vez que as retas apresentam equações e inclinações similares.

Também foi realizada análise de comparação entre as retas apresentadas nos gráficos de emergência em campo (Figura 8) e vigor pelo teste de tetrazólio (Figura 7), para cada tipo de causa de dano (EA, DMC e DME), antes da condensação dessas retas. Os resultados confirmaram que as retas que representam sementes com dano EA, DMC e DME nos modelos de EC *versus* CE (Figura 8) e TZVG *versus* CE (Figura 7) são estatisticamente iguais, permitindo que fossem condensadas em uma única reta que representasse a característica de vigor.



* Lineares seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo método das variáveis Dummy, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

Figura 13 – Correlação entre a Vigor (VG) e Condutividade Elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA), dano mecânico sobre o cotilédone (DMC) e dano mecânico sobre o eixo embrionário (DME).

A análise de comparação entre curvas para o gráfico de correlação entre vigor e condutividade elétrica (Figura 13) mostrou que a equação que determina esta relação para sementes com dano por envelhecimento artificial é estatisticamente diferente das equações obtidas para sementes com dano mecânico, pelo método Dummy a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). O que permite afirmar que a causa do dano em sementes de soja influencia na interpretação dos resultados da condutividade elétrica em sementes de soja para a característica de vigor. A porcentagem de vigor em sementes de soja com dano por envelhecimento ou por exposição a condições de excesso umidade e alta temperatura pode ser determinada a partir de valores de condutividade elétrica por meio da equação: $VG = - 1,496 CE + 180,431$, onde $VG =$ Vigor, em porcentagem, e $CE =$ Condutividade elétrica, em $\mu S cm^{-1} g^{-1}$.

As equações que representam a correlação da condutividade elétrica com o vigor para os lotes de sementes com dano mecânico sobre o cotilédone e sobre o eixo embrionário não difeririam estatisticamente entre si, pelo método Dummy ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Dessa forma, constatou-se que, para a cultivar estudada, a localização do dano mecânico pode não ser significativa para influenciar a interpretação dos resultados de condutividade elétrica, considerando a aplicação prática das regressões para determinação do vigor a partir de resultados de condutividade elétrica. Entretanto, neste caso, é importante lembrar que o dano imediato sobre o eixo embrionário mostrou-se muito mais intenso que sobre o cotilédone quando são observados os resultados de sementes partidas (Tabela 2).

Para as regressões obtidas neste gráfico (Figura 13), os valores do coeficiente de determinação (R^2) de 0,77 para EA, 0,89 para DMC e 0,96 pra DME, evidenciando que os modelos apresentaram regressões válidas, e que o teste de condutividade elétrica se mostrou eficiente para avaliar o vigor de sementes com diferentes causas de danos.

Entretanto, partindo da premissa de que para a característica de vigor, a localização do dano mecânico mostrou-se pouco significativa para influenciar a interpretação dos resultados de condutividade elétrica, ou seja, as equações de correlação para DMC e DME apresentaram equações estatisticamente iguais, foi realizada uma nova análise de regressão por meio da qual foi possível obter uma equação conjunta de DMC e DME, que expressa a correlação entre vigor e condutividade elétrica para semente com dano mecânico de maneira geral (4).

$$(4) VG = - 0,579 CE + 123,913 \\ R^2 = 0,936$$

Onde:

VG = Vigor (%)

CE = Condutividade Elétrica($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido na equação de correlação do vigor e condutividade elétrica para sementes com dano mecânico mostra que esta correlação é altamente válida com 93,6% de ajuste (Figura 14).

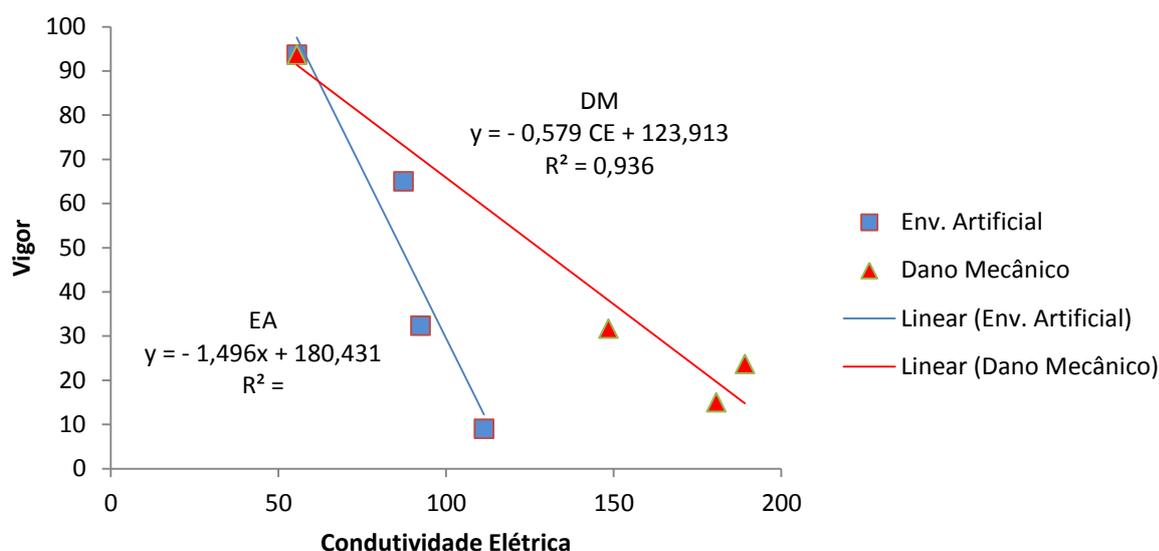


Figura 14 – Correlação entre a Vigor (VG) e Condutividade Elétrica (CE) de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR em lotes com diferentes causas de dano: envelhecimento artificial (EA) e dano mecânico (DM).

5. CONCLUSÕES

- Períodos crescentes de exposição de sementes de soja a processos de envelhecimento artificial resultam em perda também crescente de qualidade fisiológica;
- Diferentes causas de deterioração em sementes de soja, por exposição a condições de excesso umidade e alta temperatura ou por danificação mecânica, interferem na interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica, tanto para avaliação de viabilidade como de vigor;
- O local de ocorrência do impacto no momento da causa de dano mecânico, sobre o cotilédone ou sobre o eixo embrionário, mostrou-se não significativo para a interpretação dos resultados do teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor, em sementes danificadas íntegras da cultivar estudada;

- O teste de condutividade elétrica se mostrou eficiente para avaliar a viabilidade e o vigor de sementes com diferentes causas de dano;
- Os valores percentuais de viabilidade e vigor podem ser obtidos a partir da utilização de equações que correlacionam essas características com a condutividade elétrica de sementes de soja da cultivar BMX Potência RR

7. REFERÊNCIAS

ABDEL SAMAD, I.M., PEARCE, R.S. Leaching of ions, organic molecules, and enzymes from seeds of peanut (*Arachis hypogaea* L.) imbibing without testas or with intact testas. **J. Exp. Bot.**, Oxford, v.29, n.112, p.1471-8, 1978.

ABDUL-BAKI, A.A. Biochemical aspects of seed vigor. **Hortscience**, Alexandria, v.15, n.6, p.765-71, 1980.

ABDUL-BAKI, A.A., ANDERSON, J.D. Viability and leaching of sugars from germinating barley. **Crop Sci.**, Madison, v.10, n.1, p.31-4, 1973.

ALVAREZ, P. J. C.; KRZYZANOWSKI, F. C.; MANDARINO, J. M. G.; FRANÇA NETO, J. B. Relationship between soybean seed coat lignin content and resistance to mechanical damage. *Seed Science and Technology*, Zürich, v. 25, n. 2, p. 209-214, 1997.

ARAÚJO, J.M. Oxidação de lipídeos. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1989. 22p. (Boletim de Extensão, 283).

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - AOSA. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing: AOSA, 1983. 93p. (Contribution, 32).

AYALA-AGUILERA, L.; MENEZES, N.L. Seed quality characterization of soybean cultivars. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.3, p.222-225, 2000.

BARROS, A.S.R.; FILHO, J.M. Testes para avaliação rápida do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.19, n.2, p.288-294, 1997.

BARTSCH, J.A.; HAUGH, C.G.; ATHOW, K.L.; PEART, R.M. Impact damage to soybean seed. **Transactions of the ASAE**, v. 29, n.2, p. 582-586, 1986.

BASAVARAJAPPA, B.S.; SHETTY, H.S.; PRAKASH, H.S. Membrane deterioration and other biochemical changes, associated with accelerated aging of maize seeds. *Seed Science and Technology*, Zürich, v.19, n.2, p.279-286, 1991.

BEWLEY, J.D. Membrane changes in seeds as related to germination and the perturbations resulting from deterioration in storage. In: McDONALD JR., M.B., NELSON, C.J. (Ed.) **Physiology of seed deterioration**. Madison: Crop Sci. Soc. Amer., 1986. p.1-25.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1985. 367p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/SDA/ACS, 2009. 395p.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. The pendulum test for screening soybean genotypes for seeds resistant to mechanical damage. **Seed Science and Technology**, v.23, n.2, p. 331-339, 1995.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OLIVEIRA, M.C.N. de; FONSECA JUNIOR, N. da S. Teor de umidade das sementes de soja e métodos de avaliação ao dano mecânico provocado no teste do pêndulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, N.11, P. 1277-1285, 1993.

CARBONELL, S.A.M. Metodologia para seleção de genótipos de soja com semente resistente ao dano mecânico. Londrina, 1991. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina.

CARRARO, I.M. Soja geneticamente modificada tolerante a herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4, 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: Potafos, 2006.140-143p.
CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 588 p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2005. 588 p.

CARVALHO, M. V. **Determinação do fator de correção para condutividade elétrica em função do teor de água de sementes de soja [Glycine max (L.) Merrill]**. Jaboticabal: Unesp, 1994. 36 p.

CHING, T.M., SCHOOLCRAFT, I. Physiological and chemical differences in aged seeds. **Crop Sci.**, Madison, v.8, n.4, p.407-9, 1968.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M.B. Principles of seed science and technology. 3.ed. New York: Chapman & Hall, 1995. 409p.

COSTA, N.P.; MESQUITA, C.M.; MAURINA, A.C.; FRANÇA NETO, J.B.; PEREIRA, J.E.; BORDINGNON, J.R.; KRZYZANOWSKI, F.C; HENNING, A.A. Efeito da colheita mecânica da soja sobre características físicas, fisiológicas e químicas das sementes produzidas em três estados do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina, v.23, n.1, p.140-145, 2001.

COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; THOMAS, A.L.; ALBERTON, M. Comprimento e índice de expansão radial do hipocótilo de cultivares de soja. **Ciência Rural**, v. 29, p. 609-612, 1999.

COSTA, A. V.; KUENEMAN, E. A.; MONTEIRO, P. M. E. D. Varietal differences in soybean forresistence to physical damage off seed. *Soybean Genetics Newslester*, East Lansing, v. 14, n. 1, p. 73-76, 1987.

COSTA, N. P., MESQUITA. C.M., HENNING, A. A. Avaliação das perdas e dos efeitos da colheita mecânica sobre a qualidade fisiológica e a incidência de patógenos em sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília. v 1, n. 3, p. 59-70, 1979.

DELOUCHE, J.C. Germinação, Deterioração e Vigor da Semente. **Seed News**, v. 6, n.6. 2002

DELOUCHE, J.C. Maintaining soybean seed quality. In: DELOUCHE, C. **Soybean production, marketing and use**. Tennesy: Valley Authority, 1974. p.46-62. (Bulletin, 69).

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science & Technology**, v. 1 n. 2: p. 427-452,1973.

DIAS, D.C.F.S., MARCOS FILHO, J. Electrical conductivity tests for vigour evaluation in soybean seeds. In: INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION CONGRESS, 24, 1995, Copenhagen. **Abstracts...** Zurich: ISTA, 1995. p.89.

DIAS, M.C.L.L., BARROS, A.S.R. **Avaliação da qualidade de sementes de milho**. Londrina: IAPAR, 1995. 43p. (Circular 88).

DUTRA, A.S., VIEIRA, R.D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.715-721, 2004.

EMPRABA TRIGO. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 32., 2004, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina - 2004/2005**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004.

FAGIOLI, M. **Relação entre a condutividade elétrica de sementes e a emergência das plântulas de milho em campo**. 1997. 74f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Jaboticabal..

FICK, G.L., HIBBARD, R.P. A method for determining seed viability by electrical conductivity measurements. **Mich. Acad. Sci., Arts Letters**, v.5, p.95-103, 1925.

FLOR, E. P. O.; CÍCERO, S. M.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagem. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 26, n. 1, p. 68-76, 2004.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; PÁDUA, G.P.; COSTA, N.P.; HENNING, A.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade – Série Sementes**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 2007. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 40).

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998a. 72p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 116).

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. Suscetibilidade das principais cultivares de soja utilizadas no Brasil ao dano de embebição no teste de germinação. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998b. 10p. (EMBRAPA-CNPSO, Comunicado Técnico, 60).

FRANÇA NETO, J. B. Qualidade fisiológica da semente. In: FRANÇA NETO, J. B., HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de semente de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. p. 5-24 (Circular Técnica, 9).

FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. **Qualidades fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. 39p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 9).

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BÜLL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.

GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; GONÇALVES, E.P.; VIANA, J.S.; MEDEIROS, M.S.; LIMA, C.R. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. *Semina: Ciências Agrárias*. Londrina, v.30; n.4; p. 793-802, 2009

HAMPTON, J.G., TEKRONY, D.M. Conductivity test. In: HAMPTON, J.G., TEKRONY, D.M. (Ed.) **Handbook of vigour test methods**. 3.ed. Zurich: ISTA, 1995. p.22-34.

HENNING, A. A.; FRANÇA NETO, J. B. Problemas na avaliação da germinação de sementes de soja com alta incidência de *Phomopsis* sp.. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 9-22, 1980.

HIBBARD, R.P., MILLER, E.V. Biochemical studies on seed viability. I. Measurements of conductance and reduction. **Plant Physiol.**, Bethesda, v.3, p.335-52, 1928.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. International rules for testing seeds. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 13, n. 2, p. 301-520, 1985.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, nov./dez. 2005, v.35, n.6, p.1248-1256.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A.; COSTA, N.P. **A semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades - Série sementes**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 8p. (Circular Técnica, 55)

KRZYZANOWSKI, F. C. Desafios tecnológicos para produção de sementes de soja na região tropical brasileira. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA , 3., 2004a, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soja 2004a, p.1324-1335.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; COSTA, N.P. **Teste do hipoclorito de sódio para sementes de soja**. Londrina: Embrapa-CNPQ, 2004b. 4p. (Circular Técnica, 37)

KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.

KUENEMAN, E.A. Breeding for resistance to physical damage to soybean seed. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., Buenos Aires, 1989. **Actas**. Rosário: Asociación Argentina de Soja, 1989. v.2, p. 1086-1090.

LARSON, L.A. The effect of soaking pea seeds with or without seedcoats has on seedling growth. **Plant Physiol.**, Bethesda, v.43, n.2, p.255-9, 1968.

LIN, S.S. Alterações na lixiviação eletrolítica, germinação e vigor da semente de feijão envelhecida sob alta umidade relativa do ar e alta temperatura. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, Brasília, v.2, n.2, p.1-6, 1990.

LOEFFLER, L.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal of Seed Technology**, v.12, n.1, p.37-53, 1988.

LOEFFLER, T.M. **The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality**. Lexington, 1981. 181p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - University of Kentucky.

LOPES, J.C.; MARTINS FILHO, S.; TAGLIAFERRE, C.; RANGEL, O.J.P. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.1, p.51-58, 2002.

LUZZATI, V., HUSSON, F. The structure of the liquid-crystalline phases of lipid-water systems. **J. Cell Biol.**, New York, v.12, p.207-20, 1962.

MACHADO, R. T. M. **Rastreabilidade, tecnologia da informação e coordenação de sistemas agroindustriais**. 2000. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de São Paulo, São Paulo

MAGALHÃES, Sérgio Ricardo Silva. **Eficiência dos Métodos Utilizados na Comparação de Modleos de Regressão e uma Aplicação na Área Médica**./ Sérgio Ricardo Silva Magalhães - São José dos Campos:SP / UNICASTELO, 2013.(Tese de Doutorado).

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999a. p.3. (1-24).

MARCOS FILHO, J. Conceitos e testes de vigor para sementes de soja. CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., 1999, Londrina. Londrina: EMBRAPA-CNPQ, 1999. Anais... p.220-226, 1999b.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R.; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Estudo comparativo de métodos para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.12, p.1805-1815, 1990.

MARCOS FILHO, J. CARVALHO, R.V.; CÍCERO, S.M.; DEMÉTRIO, C.G.B.. Qualidade fisiológica e comportamento de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no armazenamento e no campo. **Anais Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.43, p.389-443, 1986.

MARCOS FILHO, J., AMORIN, H.V., SILVAROLLA, M.B., PESCARIN, H.M.C. Relações entre germinação, vigor e permeabilidade das membranas celulares durante a maturação de sementes de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, 1981, Brasília, DF. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1982. v.1, p.676-88.

MATTHEWS, S., POWELL, A.A. Electrical conductivity test. In: PERRY, D.A. (Ed.) **Handbook of vigour test methods**. Zurich: ISTA, 1981. p.37-42.

MATTHEWS, S., CARVER, M.F.F. Further studies on rapid exudate tests indicative of potential field emergence. **Proc. Int. Seed Test. Assoc.**, Zurich, v.36, n.2, p.307-12, 1971.

MATTHEWS, S., BRADNOCK, W.T. Relationship between seed exudation and field emergence in peas and french beans. **Hort. Res.**, Edinburg, v.8, p.89-93, 1968.

MATTHEWS, S., BRADNOCK, W.T. The detection of seed samples of wrinkle-seeded peas (*Pisum sativum* L.) of potentially low planting-value. **Proc. Int. Seed Test. Assoc.**, Zurich, v.32, n.3, p.553-63, 1967.

McDONALD JR.,M.B., WILSON, D.O. ASA-610 ability to detect changes in soybean seed quality. **J. Seed Technol.**, Boise, v.5, n.1, p.56-66, 1980.

McDONALD, M.B. A review and evaluation of seed vigor tests. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysis** 65: 109-139, 1975.

McKERSIE, B.D., STINSON, R.H. Effect of dehydration on leakage and membrane structure in *Lotus corniculatus* L. seeds. **Plant Physiol.**, Bethesda, v.66, n.2, p.316-20, 1980.

MERTZ, L.M.; SEGALIN, S.R.; HUTH, C.; ROSA, T.D. Condutividade elétrica individual para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo. **Informativo ABRATES**, Santa Maria-RS, v. 22, n. 1, 2012.

MINUZZI, A.; BRACCINI, A.L.; RANGEL, M.A.S.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C.; ALBRECHT, L.P. Qualidade de Sementes de quarto cultivares de soja,colhidas em dois locais no Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.1, p.176-185, 2010.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina:ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.

NAPLAVA, V.; WEINGARTMANN, H.; BOXBERGER, J. Quality research of seed maize during drying and conditioning. 1. Mechanical damage. *Bodenkultur*, Vienna, v. 45, n. 4, p. 333-348, 1994.

OLIVEIRA, M. de A.; MATTHEWS, S.; POWELL, A.A. The role of split seed coats in determining seed vigour in commercial seed lots of soybean, as measured by the electrical conductivity test. **Seed Science and Technology**, v.12, p.659-668, 1984.

PACHECO, C. A. P.; CASTOLDI, F. L.; ALVARENGA, E. M. Efeito do dano mecânico na qualidade fisiológica e na capacidade de expansão de sementes de milho pipoca. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 18, n. 2, p. 267-270, 1996.

PAIVA AGUERO, J.A. **Correlação de condutividade elétrica e outros testes de vigor com emergência de plântulas de soja em campo**. Jaboticabal, 1995. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

PAIVA, L.E.; MEDEIROS, S.F.; FRAGA, A.C. Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v.24, p.846-856, 2000.

PAULSEN, M. R.; NAVE, W. R. Soybean seed quality as affected by impact damage. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Saint Joseph, v. 24, n. 6, p. 1577-1589, 1981.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A.; SCHUCH, L.O.B. Benefícios e obtenção de sementes de alta qualidade. **Seednews**, ano 14, n.5, 2010. Disponível em: <http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=82>

PETERSON, J. M.; PERDOMO, J. A.; BURRIS, J. S. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 23, n. 3, p. 647-657, 1995.

POPINIGIS, F. *Fisiologia da semente*. Brasília: Agiplan, 1985. 289p.

POWELL, A.A. Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. **J. Seed Technol.**, Boise, v.10, n.2, p.81-100, 1986.

POWELL, A.A.; MATTHEWS, S. Association of phospholipid changes with early stages of seed ageing. **Annals of Botany**, London, v.47, n.5, p.709-12, 1981.

PRESLEY, J.T. Relation of protoplast permeability to cotton seed viability and predisposition to seedling disease. **Plant Dis. Rep.**, St. Paul, v.42, n.7, p.852, 1958.

PRETE, C.E.C., CÍCERO, S.M., FOLEGATTI, M.V. Emergência de plântulas de soja no campo e sua relação com a embebição e condutividade elétrica das sementes. **Semina**, Londrina, v.15, n.1, p.32-7, 1994.

RECH, E. G.; VILLELA, F.A.; TILLMANN, M.A.A. Avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de ervilha. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.2, p.1-9, 1999.

ROBERTS, E.H. Cytological, genetical and metabolic changes associated with loss of viability. In: ROBERTS, E.H. (Ed.) **Viability of seeds**. London: Chapman & Hall, 1972. p.253-306.

ROSSETO, C. Q. V. et al. Efeito da disponibilidade hídrica do substrato, na qualidade fisiológica e do teor de água inicial das sementes de soja no processo de germinação. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 97-105, 1997.

SALINAS, A.R.; YOLDJIAN, A.M.; CRAVIOTO, R.M.; BISARO, V. Pruebas de vigor y calidad fisiologica de semillas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.2, p.371-379, 2001.

SANTOS, M.R. . **Qualidade fisiológica, sanidade e alterações bioquímicas em sementes de soja e suas relações com potencial de armazenamento e emergência no campo**. 2004. 104f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3, p.35-41, 2010.

SCHUAB, S.R.P.; BRACCINI, A.L.; FRANÇA NETO, J.B.; SCAPIM, C.A.; MESCHÉDE, D.K. Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a emergência de plântulas em campo. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 28, n.4, p. 553-561, 2006.

SCHUCH, L.O.B. **Vigor das sementes e aspectos da fisiologia da produção em aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.)**. 1999. 127f. Universidade Federal de Pelotas. (Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes)

SHORT, G.E., LACY, M.L. Carbohydrate exudation from pea seeds: Effect of cultivar, seed age, seed color, and temperature. **Phytopathology**, St. Paul, v.66, n.2, p.182-7, 1976.

SIMON, E.W., MATHAVAN, S. The time-course of leakage from imbibing seeds of different species. **Seed Sci. Technol.**, Zurich, v.14, n.1, p.9-13, 1986.

SIMON, E.W. Phospholipids and plant membrane permeability. **New Phytol.**, Oxford, v.73, n.3, p.377-420, 1974.

SIMON, E.W., RAJA HARUN, R.M. Leakage during seed imbibition. **J. Exp. Bot.**, Oxford, v.23, n.77, p.1076-85, 1972.

SIMONI, F. Deterioração controlada em sementes de milho (*Zea mays* L.). 2003. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

STEERE, W.C., LEVENGOOD, W.C., BONDIE, J.M. An electronic analyser for evaluating seed germination and vigour. **Seed Sci. Technol.**, Zurich, v.9, n.2, p.567-76, 1981.

TEKRONY, D. M. Accelerated ageing test. *Journal of Seed Technology*, Lincoln, v. 17, n. 2, p. 110-120, 1993.

TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Relationship of seed vigor to crop yeild: a review. *Crop Science*, Madison, v. 31, p. 816-822, 1991.

TOMES, L. J.; TEKRONY, D. M.; EGLY, D. B. Factors influencing the tray accelerated ageing test for soybean seed. *Journal of Seed Technology*, Lansing, v. 12, n. 1, p. 23-35, 1988.

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em genótipos de sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.20, n.1, p.178-183, 1998.

VIEIRA, R. D.; SCAPPA NETO, A.; BITTENCOURT, S. R. M.; PANOBIANCO, M. Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.164 - 168, 2004.

VIEIRA, R.D.; BITTENCOURT, S.R.M.; PANOBIANCO, M. Seed vigour - an important component of seed quality in Brazil. *ISTA - Seed Testing International*, n. 126, p. 21-22, 2003.

VIEIRA, R. D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.37, n.9, p.1333-1338, 2002.

VIEIRA, R.D..Testes de vigor utilizados para sementes de soja no Brasil na atualidade. **CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA**, 1., Londrina, 1999. Londrina: EMBRAPACNPSO, 1999. Anais... 1999. p.227-232

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.4.1-4.26

VIEIRA, R.D. PAIVA-AGUERO, J.A.; PERECIN, D. Electrical conductivity and field performance of soybean seeds.**Seed Technology**, v.21, n.1, p.15-24, 1999a.

VIEIRA, R.D.; PAIVA-AGUERO, J.A.; PERECIN, D.; BITTENCOURT, S.R.M. Correlation of electrical conductivity and other vigor tests with field emergence of soybean seedlings. **Seed Technology**, v.27, n.1, p.67-75, 1999b

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (ed.), **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal. FUNEP, 1994. p.103-132.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994, p.103-133

VIEIRA, M.G.G.C. Aspectos da integração, tecnologia e sanidade em estudos de sementes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 3., Lavras. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1988. p. 48-57

WILSON JR., D.O.; ALLEYNE, B.S.; MOHAN, S.K. Combining vigor test results of final stand of shrunken-2 sweet corn seed. **Crop Science**, Madison, v.32, n.6, p.1496-1502, 1992

WILSON JÚNIOR, D.O.; McDONALD, M.D. The lipid peroxidation model of seed ageing. *Seed Science and Technology*, Zürich, v.14, n.2, p.269-300, 1986.

WOODSTOCK, L.W. Seed imbibition: a critical period for successful germination. **J. Seed Technol.**, Boise, v.12, n.1, p.1-15, 1988.

YAKLICH, R.W., KULIK, M.M., ANDERSON, J.D. Evaluation of vigor tests in soybean seeds: Relationship of ATP, conductivity, and radioactive tracer multiple criteria laboratory tests to field performance. **Crop Sci.**, Madison, v.19, n.6, p.806-10, 1979.