

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes



Dissertação

**Desempenho agrônomo e fisiológico de plantas e sementes de milho sob
influência do alagamento temporário do solo**

Manoela Andrade Monteiro

Pelotas, 2016

Manoela Andrade Monteiro

Engenheira Agrônoma

**Desempenho agrônômico e fisiológico de plantas e sementes de milho sob
influência do alagamento temporário do solo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador:

Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (FAEM/UFPEL)

Coorientador:

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela (FAEM/UFPEL)

Pelotas, 2016

Rio Grande do Sul – Brasil

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M772d Monteiro, Manoela Andrade.
Desempenho agrônômico e fisiológico de plantas e sementes de milho sob influência do alagamento temporário do solo. / Manoela Andrade Monteiro; orientador Tiago Zanatta Aumonde. – Pelotas, 2016.

51f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. *Zea mays* L.. 2. Hipoxia. 3. Análise de crescimento. 4. Rendimento. 5. Vigor de sementes. I. Aumonde, Tiago Zanatta, orient. II. Título.

CDD: 633.15

Manoela Andrade Monteiro
Engenheira Agrônoma

Desempenho agrônômico e fisiológico de plantas e sementes de milho sob influência do alagamento temporário do solo

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 19/02/2016.

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (Orientador)
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Tiago Pedó
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof^a. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Dr. Junior Borella
Doutor em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida e viver com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve... A vida é muito para ser insignificante”.

Charles Chaplin

Aos meus pais Marcia e Antonio Marcos e a minha irmã Cecília, pelo exemplo de dedicação e apoio em todos os momentos. Por acreditarem sempre nos meus ideais.

DEDICO...

Agradecimentos

A Deus, por sempre guiar meu caminho, dando forças para nunca desistir e mostrar que baixar a cabeça para agradecer vale mais do que pedir.

Aos meus pais, Marcia e Antonio Marcos, irmã Cecília e meus avós que sempre estiveram ao meu lado, incentivando, apoiando e dando conselhos desde o início.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde pela imensa paciência, dedicação, confiança e conselhos.

A Doutoranda Andrea Martins e a Mestranda Letícia Medeiros, pelo companheirismo e amizade.

Aos estagiários que ao longo do tempo se tornaram grandes amigos Guilherme Menezes, João Behenck, Alexandre Peres, William Pacheco pelo comprometimento, companheirismo, amizade, auxílio durante a condução do experimento e apoio nas horas fáceis e difíceis.

A Cordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa.

Aos amigos em particular, Felipe Nobre e Cecilia Bittar que mesmo longe, de uma forma ou outra, sempre estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando nos bons e maus momentos.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADA.**

Resumo

MONTEIRO, Andrade Manoela. **Desempenho agrônômico e fisiológico de plantas e sementes de milho sob influência do alagamento temporário do solo.** 2016. 51f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

O presente trabalho constou de dois experimentos e objetivou avaliar atributos fisiológicos do crescimento de plantas, características físicas e a expressão do vigor de sementes de milho sob influência do alagamento temporário do solo. Para isso, foi utilizado um genótipo de milho proveniente do município de Ametista do Sul – RS, sendo os experimentos conduzidos na Universidade Federal de Pelotas. O primeiro trabalho foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x6 (quatro períodos de alagamento do solo e seis épocas de coleta) com quatro repetições. Foram avaliados a matéria seca total, a taxa de produção de matéria seca, as taxas de crescimento relativo e a assimilatória líquida, o índice de área foliar, a razão de área e massa foliar, a partição de assimilados, o índice de colheita, a emergência e o índice de velocidade de emergência de plântulas. O segundo trabalho foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo avaliada a massa de mil sementes, o número de sementes por espiga, o número de fileiras por espiga, a condutividade elétrica em sementes, o comprimento da parte aérea e matéria seca de parte aérea. O crescimento e a partição de assimilados foram alterados negativamente quando plantas foram submetidas aos períodos de 48 e 72h de alagamento do solo, enquanto, a expressão do vigor de sementes foi reduzida quando plantas foram expostas ao alagamento pelo período de 72h. A massa de mil sementes, o número de sementes por espiga, o número de fileira por espiga e a condutividade elétrica em sementes foram reduzidos quando as plantas foram submetidas ao período de 72h de alagamento do solo. O alagamento do solo, por 72 horas, afeta negativamente o crescimento, características físicas e a expressão do vigor de sementes de milho.

Palavras-chaves: *Zea mays* L.; hipoxia; análise de crescimento; rendimento; vigor de sementes.

Abstract

MONTEIRO, Manoela Andrade. **Agronomic and physiological performance of plants and maize seeds under the influence of temporary flooding.** 2016 51f. Thesis (Master of Science) - Graduate Program in Seed Science and Technology, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2016.

This work consists of two experiments and aimed to evaluate physiological attributes plant growth, physical characteristics and vigor expression of maize seeds under the influence of temporary flooding. For this, we used a corn genotype from the city of South Amethyst - RS, and the experiments were conducted at the Federal University of Pelotas. The first study was conducted in experimental design of randomized blocks in a factorial 4x6 (four periods of flooding and six seasons collection) with four replications. We evaluated the total dry matter, the dry matter production rate, relative growth rate and net assimilation, leaf area index, the ratio of area and leaf mass, assimilated partition, harvest index, emergence and seedling emergence speed index. The second study was conducted in experimental design of randomized blocks with four treatments and four replicates, and evaluated the weight of a thousand seeds, number of seeds per head, the number of rows per corn cob, the electrical conductivity in seeds, the length of the part air and dry matter of shoots. The growth and partitioning of assimilates were adversely altered when plants were exposed to periods of 48 and 72 hours of flooding, while the expression of seed vigor is reduced when plants were exposed for 72h to flooding period. The weight of one thousand seeds, seed number per corn cob, number of row per corn cob and electrical conductivity seeds were reduced when plants were exposed to 72h period of flooding. The flooding for 72h, adversely affects the growth, physical characteristics and the expression of vigor of maize seed.

Key words: *Zea mays* L .; hypoxia; growing; Yield; seed vigor.

Sumário

1. Introdução Geral	9
2. Capítulo I – Análise de crescimento de plantas e expressão do vigor de sementes de milho sob influência do alagamento temporário do solo.....	15
2.1. Introdução	15
2.2 Material e Métodos.....	16
2.3 Resultados e discussão	19
2.4 Conclusões	28
3. Capítulo II – Desempenho fisiológico e rendimento de sementes de milho sob influência de períodos de alagamento do solo	29
3.1 Introdução	29
3.2 Material e métodos.....	30
3.3 Resultados e discussão	33
3.4 Conclusões	38
4. Considerações finais	39
5. Referências bibliográficas	40

1. Introdução Geral

O milho (*Zea mays* L.) está entre as plantas de maior eficiência comercial, sendo originado das Américas, mais especificamente do México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos (MARCHI, 2008). O cultivo desta espécie aumenta anualmente, principalmente pela demanda da indústria para fabricação de rações destinadas ao consumo humano, produção animal e a indústria de alimentos (MARCHI, 2008).

A área cultivada com milho no Brasil, na primeira safra da temporada 2014/15 foi de 6.156,1 mil hectares (CONAB, 2015). Quanto à produção brasileira de milho para a mesma temporada, o volume foi de 54.485,1 mil toneladas, com uma variação superior de 6% comparada à safra anterior e uma produtividade de 5.683 kg ha⁻¹, no Rio Grande do Sul a primeira safra 2014/15 teve uma área cultivada de 941,0 hectares e produção de 6.173,0 mil toneladas (CEPEA MILHO, 2015).

A grande maioria das áreas de cultivo para espécies produtoras de grãos possuem adequada drenagem. Contudo, aproximadamente, 6% da superfície terrestre estão sujeita ao alagamento temporário do solo, sendo que no Brasil, cerca de 33 milhões de hectares são de solos de várzeas, dos quais cerca de 12 milhões estão localizados na região dos Cerrados (SANTOS, 1999), e aproximadamente 5,4 milhões hectares no estado do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2005).

As áreas de várzea no Brasil são caracterizadas por solos aluviais ou hidromórficos que dispõe frequentemente, de elevada matéria orgânica e fertilidade. Podem temporariamente, ser inundadas pelo excesso de chuvas que é associado à deficiência de drenagem e a elevação do nível do lençol freático (LOPES et al., 1988). Todavia, períodos intermitentes de encharcamento do solo ocasionam a resistência difusiva dos gases e a privação de oxigênio, criando assim, condições de hipoxia ou de anoxia (ARMSTRONG et al., 1994).

O estresse causado pelo alagamento do solo reduz a produtividade na cultura do milho, contudo, alguns genótipos podem apresentar tolerância à hipoxia, condição atribuída em parte à resposta diferencial de diferentes mecanismos bioquímicos e fisiológicos (DANTAS et al., 2001). Em geral, plantas tolerantes a

estas condições de estresse possuem adequado nível de reservas, eficiente utilização de carboidratos e a contínua reoxidação do NADH, mantendo a funcionalidade das ATPases e a o pH próximo à normalidade (ALVES et al., 2000; SUMMERS et al., 2000).

Os solos com drenagem deficiente, sujeitos a elevados regimes pluviais ou a sistemas de irrigação manejados de forma inadequada, apresentam a ausência ou baixos níveis de oxigênio no ambiente radicular. Plantas que se desenvolvem nessas condições têm o crescimento vegetativo e a fase reprodutiva, afetados negativamente, podendo resultar na paralisação do crescimento vegetal (ALVES, et al., 2002). A deficiência de oxigênio no solo resulta em distúrbios fisiológicos, os quais resultam no amarelecimento das folhas, redução da fotossíntese e da condutância estomática (ARRUDA & CALBO, 2004).

Em plantas que se desenvolvem sob influência do alagamento do solo, o metabolismo é desviado para a via anaeróbica, a qual produz menor rendimento de energia (WANG et al., 2012). Em condições de alagamento do solo, as plantas sintetizam como produto final, o acetaldeído e o etanol, também a acidificação do citoplasma, em decorrência da produção de lactato e da elevada acumulação de H^+ , devido ao funcionamento precário das ATPases-transportadoras do tonoplasto (ALVES et al., 2002).

Algumas plantas podem desenvolver mecanismos de ordem fisiológica, anatômica ou morfológica, visando à prevenção do estresse. Em decorrência do alagamento, pode ocorrer o aumento da taxa de alongamento foliar (MOMMER & VISSER, 2005), o incremento no acúmulo de compostos, a exemplo de carboidratos e açúcares (SAIRAM et al., 2009), de proteínas específicas (ZABALZA et al., 2009) e a elevação da atividade das enzimas do sistema antioxidante de defesa (SHAO et al., 2008).

Frente ao estresse imposto, ocorrem modificações metabólicas e incremento na síntese de alguns produtos relacionados à defesa vegetal e que se fazem necessários para a atenuação do efeito estressor sobre o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Entre os elementos produzidos com finalidade de defesa, destacam-se os compostos fenólicos (GILL & TUTEJA, 2010). Além disso, em situações de estresse, pode ocorrer o incremento na atividade das enzimas antioxidantes visando à eliminação de espécies reativas de oxigênio (MATÉS, 2000). Neste sentido, as enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase

atuam em conjunto e na eliminação de espécies reativas de oxigênio, convertendo-as em moléculas não tóxicas (AHMED et al., 2009).

Diferentes atributos morfológicos ou de crescimento podem ser alterados frente ao estresse imposto pelo alagamento. Segundo Pires et al. (2002) ocorre redução na massa seca e na área foliar entre plantas de soja mantidas sob alagamento do solo e na sua ausência. O encharcamento do solo afeta negativamente a fotossíntese e a produção de compostos carbonados destinados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal (ISHIDA et al., 2002 ; BATISTA et al., 2008).

Fatores ambientais e práticas culturais podem afetar a composição química das sementes (VEIGA et al., 2010), bem como, alterar seu desempenho fisiológico. O alagamento do solo pode reduzir a qualidade fisiológica das sementes, afetando a germinação e o vigor (COSTA et al., 1994). A ocorrência de determinado estresse na fase vegetativa tende a reduzir a qualidade das sementes, devido à mudança na alocação e translocação de fotoassimilados (VERNETTI JUNIOR, 2009).

Neste sentido, Thomas (2004) observou em plantas de soja, que os teores de clorofila são reduzidos após sete dias de inundação do solo. Enquanto, Bailey Serres & Voeselek (2008) verificaram que, em algumas plantas e tecidos, a baixa concentração de oxigênio ocasionada pelo alagamento do solo, promove a conversão de amido à glicose, no entanto, a mobilização de amido durante a privação de oxigênio não é universal.

Devido à baixa concentração de O₂ frente ao alagamento do solo, os açúcares solúveis produzidos na fotossíntese se acumulam nas folhas e não são translocados para as raízes, onde são necessários para manter a via glicolítica em funcionamento (DIAS-FILHO, 2005), no entanto, a disponibilidade maior de substrato respiratório, como a glicose, pode ser determinante para a sobrevivência dos tecidos das raízes em ambientes com limitação de O₂.

Na privação de oxigênio, a enzima piruvato descarboxilase converte piruvato em acetaldeído, metabolizado a etanol pela enzima álcool desidrogenase, com a regeneração de NAD⁺ para sustentar a glicólise (GIBBS & GREENWAY, 2003; KÜRSTEINER et al., 2003).

Este estresse abiótico, afeta negativamente a condutância estomática e reduz as taxas fotossintéticas e de crescimento, resultando na redução da produção de matéria seca na parte aérea e nas raízes (FERNÁNDEZ, 2006). Neste sentido, Costa (2004) observou em capim angola (*Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf) e capim

canarana (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc.) mantidos sob efeito do alagamento do solo, a ocorrência da redução da área foliar, a produção de massa seca de lâmina foliar e de massa seca total. Severo et al. (2007) avaliando cultivares de soja observaram que o alagamento afeta negativamente a área foliar, massa seca de parte aérea e o volume do sistema radicular. Santos et al. (1989), avaliando sementes de soja observaram redução nos teores de amido, proteínas, carboidratos e aminoácidos solúveis e na atividade da fosfatase ácida quando as plantas de soja permaneceram sob lâmina de água.

Ao avaliar o efeito direto do alagamento em sementes de feijão, Custódio et al. (2002) verificou que após oito horas de alagamento ocorreu decréscimo da germinação e do vigor. Para comprimento de raiz e de hipocótilo, o aumento do período de alagamento resultou na inibição destes atributos de crescimento. Dantas et al. (2000), avaliando períodos de alagamento em sementes de milho verificaram que a germinação e o vigor apresentam decréscimo de 40% a partir do terceiro dia de alagamento.

Ao longo do desenvolvimento vegetal, ocorre a mudança do dreno metabólico preferencial, modificando a relação fonte e dreno. Neste sentido, as plantas apresentam diferentes fases de crescimento, sendo que inicialmente, o suprimento de assimilados são provenientes das reservas contidas na semente. Após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, ocorre fase de rápido crescimento, devido ao incremento na fotossíntese, na absorção de água e de nutrientes (MAGALHÃES & DURÃES, 2006). Inicialmente o dreno metabólico preferencial são folhas, raízes e colmos que com o surgimento de estruturas reprodutivas, passam a ser secundários na alocação de assimilados (ZEPKA, 2007). Quando a planta atinge o tamanho ou idade definitivos, entra em fase de senescência, que resulta no decréscimo de acúmulo de matéria seca (PEIXOTO & PEIXOTO, 2004; BENICASA, 2004). Entretanto, a distribuição de assimilados entre os diferentes órgãos da planta pode ser modificado negativamente em resposta ao estresse imposto (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O crescimento é definido como o aumento irreversível de um atributo físico, a exemplo da massa seca e da altura, sendo influenciado pela síntese e correta alocação de assimilados entre as diferentes estruturas da planta (REIS & MULLER, 1979). Enquanto, a análise de crescimento constitui técnica que descreve as mudanças na produção vegetal em função do tempo, e propõe-se a acompanhar a

dinâmica da produção fotossintética avaliada por meio do acúmulo de matéria seca (URCHEI et al., 2000). Esta técnica permite inferir de forma simples e a baixo custo, a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal e consiste no primeiro passo para a interpretação e a análise de produção primária, sendo importante ferramenta no estudo do comportamento da planta sob diferentes condições de ambiente e de manejo (AUMONDE et al., 2013).

A análise de crescimento, segundo Magalhães (1986), descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos regulares de tempo, permitindo acompanhar a dinâmica da produtividade, avaliada por meio de índices fisiológicos e bioquímicos. Segundo Lopes & Lima (2015), é um método utilizado na investigação do efeito de fenômenos ecológicos ou ambientais sobre o desempenho de plantas, assim como, na avaliação da adaptabilidade das espécies em diferentes ecossistemas, efeitos de competição interespecífica, diferenças genotípicas da capacidade produtiva e a influência das práticas agronômicas ou estresses ambientais sobre a planta.

No ambiente de cultivo existem fatores estressores que podem ocorrer sobre planta matriz e influenciar indiretamente na qualidade das sementes, contudo, também podem decorrer àqueles que agem diretamente sobre a semente. Em ambos os casos, a qualidade da semente, em termos de germinação e de vigor, pode ser reduzida (PESKE et al., 2012). O vigor é o principal fator relacionado a obtenção de altas produtividades de grãos, no entanto, quando em condição de encharcamento ou excesso de água no solo, ocorre a redução da disponibilidade de oxigênio, que pode afetar de maneira negativa o desempenho fisiológico das sementes (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997).

O vigor de sementes compreende a reorganização do sistema de membranas celulares, a hidrólise, a translocação e alocação de reservas, sendo que quanto mais eficientes forem esses processos, maior será o vigor (PESKE et al., 2012). O vigor pode ser avaliado por diferentes testes, entre eles a condutividade elétrica (MARCOS FILHO, 1994b), o teste de frio (KRZYZANOWSKI et al., 1999) e de primeira contagem de germinação, índice e velocidade de germinação (Brasil, 2009) e pelo teste de emergência de plântulas em substrato (NAKAGAWA, 1994).

Neste contexto, surge à necessidade de realização de trabalhos avaliando o desempenho fisiológico de crescimento e a qualidade fisiológica de sementes de milho mantidas sob influência do alagamento do solo, com finalidade de permitir a

melhor compreensão do efeito deste estresse abiótico, em aspectos vinculados ao rendimento de sementes.

2. Capítulo I

Análise de crescimento de plantas e expressão do vigor de sementes de milho sob influência do alagamento temporário do solo

2.1. Introdução

O milho constitui espécie pertencente à família Poaceae, sendo o Brasil, o terceiro maior produtor mundial deste cereal (CONAB, 2014). Na safra 2014/2015, a produção brasileira de milho foi de 54.485,1 mil toneladas e uma produtividade de 5.683 kg ha⁻¹. No Estado do Rio Grande do Sul, na primeira safra 2014/15 a produção foi de 6.173,0 mil toneladas com produtividade de 6.560 kg ha⁻¹ (CEPEA MILHO, 2015).

No Brasil a extensão de áreas dotadas de solos de várzea é de 33 milhões de hectares (SANTOS, 1999), enquanto, no Estado do Rio Grande do Sul é de aproximadamente 5,4 milhões hectares (EMBRAPA, 2005), sendo a sua utilização predominantemente com o cultivo do arroz irrigado e com a pecuária extensiva (MARCHEZAN et al., 2002). O planossolo constitui solo característico de regiões de várzea da planície costeira, possui horizonte B textural e drenagem deficiente, condição que conduz ao encharcamento temporário do solo (DUTRA, 1995).

O encharcamento do solo limita o crescimento dos sistemas de raízes, afetando negativamente a absorção de nutrientes necessários ao adequado crescimento, reduz a expansão das folhas, induz a abscisão foliar e inibe a formação dos primórdios foliares (KOZLOWSKI, 1984). Além disso, promove o fechamento estomático (MOLLARD et al., 2008) e afeta negativamente a fase fotoquímica da fotossíntese ao diminuir reações a nível cloroplastídico (ISHIDA et al., 2002) refletindo no crescimento de plantas (PRYOR et al., 2006).

Contudo, diferentes espécies apresentam distintas plasticidades ao estresse imposto pelo encharcamento do solo. A recuperação da planta após estresse pode ser comprometida pela formação de compostos tóxicos aos tecidos vegetais, sendo o nível de dano dependente da espécie, estágio de desenvolvimento, duração e intensidade do estresse, além do tempo de recuperação (FRIES et al., 2007; BAILEY-SERRES & VOESENEK, 2008).

O estresse imposto pode ocasionar modificações fisiológicas e no crescimento da planta matriz, influenciando indiretamente, na qualidade das sementes produzidas sob tal condição. A ocorrência de condições estressantes durante as fases vegetativa e reprodutiva pode ocasionar a formação de sementes menores e deformadas, afetar a deposição de amido, o conteúdo de cálcio, o acúmulo de matéria seca, a viabilidade e o vigor de sementes (PESKE et al., 2012).

A análise de crescimento possibilita determinar as bases primárias e fisiológicas da produção, descrevendo a intervalos regulares de tempo, respostas diferenciais da planta que são relacionadas às condições morfofisiológicas em diferentes condições de ambiente e de manejo (LOPES & LIMA, 2015). Por outro lado, o vigor constitui componente da qualidade fisiológica das sementes, relacionado à reorganização do sistema de membranas celulares, a hidrólise, translocação e a alocação de reservas, podendo ser determinado a partir da emergência de plântulas (PESKE et al., 2012). Logo, a avaliação conjunta do crescimento e da expressão do vigor de sementes possibilita a avaliação do nível de estresse imposto pelo fator alagamento.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar comparativamente o crescimento de plantas e a expressão do vigor de sementes de milho produzidas sob influência do alagamento temporário do solo.

2.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no *Campus* Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, na localização geográfica de 31° 52' S e 52° 21' W. As determinações referentes à avaliação do vigor de sementes foram realizadas

em casa de vegetação modelo capela revestida de policarbonato e dotada de controle de temperatura e umidade relativa do ar.

Para o estabelecimento do cultivo foram utilizadas sementes de um genótipo de milho (*Zea mays* L.) cuja qualidade inicial foi caracterizada com germinação de 95%, as quais foram coletadas no município de Ametista do Sul - RS, sob coordenadas geográficas de 27° 21' S e 53° 10' W.

A semeadura foi realizada manualmente, no período da safrinha 28 de janeiro de 2015, dispendo duas sementes por cova, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico com textura franco-arenosa (EMBRAPA, 1999). O espaçamento adotado entre linhas e entre plantas foi de 45 e 36 centímetros, respectivamente, resultando na densidade populacional de 55.000 plantas ha⁻¹ (BORGHI & CRUSCIOL, 2007).

A correção do solo foi efetuada de acordo com análise prévia e segundo recomendação do (CQFS, 2004). Cada parcela se constituiu de quatro linhas com 4 metros de comprimento, sendo para a área útil da parcela, consideradas, as duas linhas centrais.

Os tratamentos foram constituídos por períodos de alagamento do solo no estágio vegetativo entre V8 e V9 aos 75 dias da semeadura, sendo: zero (solo mantido na capacidade de campo); 24; 48 e 72 horas de alagamento. A capacidade de campo foi determinada a partir da metodologia da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e a partir da sua definição, foi definido o volume de água necessário para a manutenção desta condição hídrica do solo. Para o estabelecimento do alagamento do solo foram construídas “marachas” no entorno de cada parcela, caracterizando o sistema de tabuleiros. Os períodos de alagamento do solo foram impostos a partir da inundação e manutenção da lâmina de água de 20 milímetros acima do solo e dentro dos tabuleiros. Decorrido cada período, procedeu-se a abertura das “marachas” dos tabuleiros e efetuou-se a retirada da lâmina de água e a drenagem do solo.

Para as avaliações de crescimento foram efetuadas coletas sucessivas, a intervalos regulares de vinte e cinco dias após a semeadura, durante todo o ciclo de desenvolvimento. Em cada coleta, as plantas foram separadas em diferentes estruturas (folhas; raiz; colmo; pendão; espigas), sendo as raízes lavadas sobre peneira de malha fina. As diferentes estruturas foram

aconditionadas separadamente em envelopes de papel pardo e submetidas a secagem em estufa com ventilação forçada a temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante.

A área foliar (A_f) foi determinada com auxílio de medidor de área modelo LI-3100 e o índice de área foliar (L) calculado pela equação $L = A_f/S_t$, sendo S_t a superfície do solo. Os dados de matéria seca total ao longo do tempo (W_t) foram ajustados pela equação logística simples, $W_t = W_m/(1+Ae^{-Bt})$, sendo W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo, “A” e “B” constantes de ajustamento, “e” a base natural de logaritmo neperiano e “t” o tempo em dias após a semeadura (RICHARDS, 1969).

Os dados de área foliar foram ajustados por meio de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969) e os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca (C_t) obtidos pelas derivadas das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) em relação ao tempo (RADFORD, 1967). Para determinação do valor instantâneo da taxa de crescimento relativo (R_w) empregou-se a equação $R_w = 1/W_t \cdot dW_t/dt$. Os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), a razão de área foliar (F_a) e razão de massa foliar (F_w) foram estimados por meio das equações: $E_a = 1/A_f \cdot dW_t/dt$; $F_a = A_f/W_t$ e $F_w = W_f/W_t$, conforme (RADFORD, 1967). A partição de matéria seca entre as diferentes estruturas da planta (raízes, caules, folhas e espigas) durante o desenvolvimento da planta foi determinado separadamente, considerando a massa seca que foi alocada para cada estrutura da planta, seguido por sua transformação em uma base percentual.

O vigor das sementes de milho foi avaliado a partir de sementes produzidas sob influência do alagamento do solo. Foi avaliado a emergência das plântulas em substrato, sendo o teste realizado com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, totalizando de 200 sementes. Para isso, as sementes foram dispostas a 10 mm de profundidade em bandejas de polietileno, contendo horizonte A1 proveniente de Planossolo Háplico Eutrófico Solódico. Houve estabilização da emergência de plântulas aos 10 dias após a semeadura, sendo então, determinado a porcentagem de plântulas emergidas segundo descrito por Nakagawa (1994). Conjuntamente à avaliação da emergência de plântulas em substrato, avaliou-se o índice de velocidade de

emergência a partir da contagem diária do número de plântulas emergidas, até a estabilização. A estimativa do índice de velocidade de emergência foi de acordo com a equação proposta por Maguire (1962).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x6 (quatro períodos de alagamento do solo e seis épocas de coleta). Os dados primários de crescimento foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e a matéria seca total analisada pela equação logística simples (LOPES & LIMA, 2015). Dados de partição de assimilados foram convertidos em porcentagem de matéria seca alocada em cada estrutura vegetal avaliada e àqueles referentes a dados primários de crescimento foram submetidos à análise de variância e àqueles relacionados ao vigor quando significativos a 5% de probabilidade foram representados por polinômios ortogonais.

2.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 1, é possível constatar diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% para os dados primários de área foliar, matéria seca de colmo, matéria seca de raízes e matéria seca de espigas de plantas de milho submetidas a influência do alagamento temporário do solo.

Tabela 1. Resumo da análise de variância com quadrados médios para dados primários de área foliar (A_f), matéria seca de folhas (W_f), matéria seca de colmo (W_c), matéria seca de raízes (W_r) e matéria seca de espigas (W_{esp}) de plantas de milho sob influência de períodos de alagamento temporário do solo. Pelotas, UFPel, 2015

FATOR	GL	A_f	W_f	W_c	W_r	W_{esp}
Tratamentos	3	0,05820981 ^{ns}	11136,98 ^{ns}	4099,016 ^{ns}	38302,63 ^{ns}	170067,4*
Coletas	5	0,2590507 ^{ns}	231247,4 ^{ns}	111463,7 ^{ns}	163,697 ^{ns}	1129,419 ^{ns}
TxC	15	0,01123269*	1686,297*	2893,735*	20789,4*	119253,4*
Resíduo	72	0,002902058	4273,223	2468,809	7998,986	22105,09
Total	95					
Média		0,2038626	175,1475	106,1241	125,8632	224,9653
CV(%)		26,42	37,32	46,81	71,05	66,08

*Nível de significância (P = 5%) e não significativo (ns).

A matéria seca total (W_t) de plantas de milho, indiferentemente ao período de alagamento temporário do solo, se ajustou a equação logística simples com

elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,95$) (Figura 1a). Houve crescimento inicial lento até aproximadamente 40 dias após a semeadura (DAS), com posterior tendência ao acréscimo até o final do ciclo de desenvolvimento aos 150 DAS. Plantas mantidas na capacidade de campo atingiram maior W_t comparativamente àquelas sob influência de 24; 48 e 72h de alagamento do solo. Ocorreu superioridade de 15; 37 e 60% na alocação da matéria seca total em plantas mantidas na capacidade de campo comparativamente àquelas sob alagamento do solo por 24; 48 e 72h.

O efeito do alagamento do solo é negativamente visível sobre a alocação de matéria seca total, principalmente em plantas submetidas aos maiores períodos de alagamento. Em condição de restrição de oxigênio ou de encharcamento do solo, a via metabólica voltada à produção de ATP é a anaeróbica, a qual produz menor quantidade de energia (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Desta forma o alagamento do solo induz o fechamento estomático, limita as trocas gasosas, diminuindo a perda de água pela transpiração e a assimilação de carbono (FERNÁNDEZ, 2006). Além disso, a sensibilidade ao alagamento pode reduzir a fotossíntese por fatores não estomáticos, como redução da atividade da enzima rubisco (YARDANOVA et al., 2005) e acúmulo de amido nas folhas em plantas sob excesso hídrico em razão do fenômeno da retroinibição (ARAYA et al., 2006).

O crescimento da planta em termos de aumento de volume, massa seca, dimensões lineares e unidades estruturais, é função do armazenamento de carbono estrutural (AUMONDE et al., 2011). Neste sentido, o reduzido crescimento inicial é normal e decorrente da baixa absorção de água e de nutrientes, além da pequena área foliar e devido às reduzidas taxas de respiração e taxa assimilatória líquida (MONTEITH, 1969).

As taxas de produção de matéria seca (C_t) permaneceram reduzidas até, aproximadamente 40 DAS (Figura 1b), corroborando com a baixa produção de matéria seca total (Figura 1a). As máximas taxas foram obtidas aos 100 DAS, com posterior decréscimo até o final do ciclo de desenvolvimento das plantas, tendo ocorrido a maior taxa de produção de matéria seca em plantas mantidas

na capacidade de campo seguidas por àquelas dispostas aos períodos de alagamento de 24; 48 e 72h.

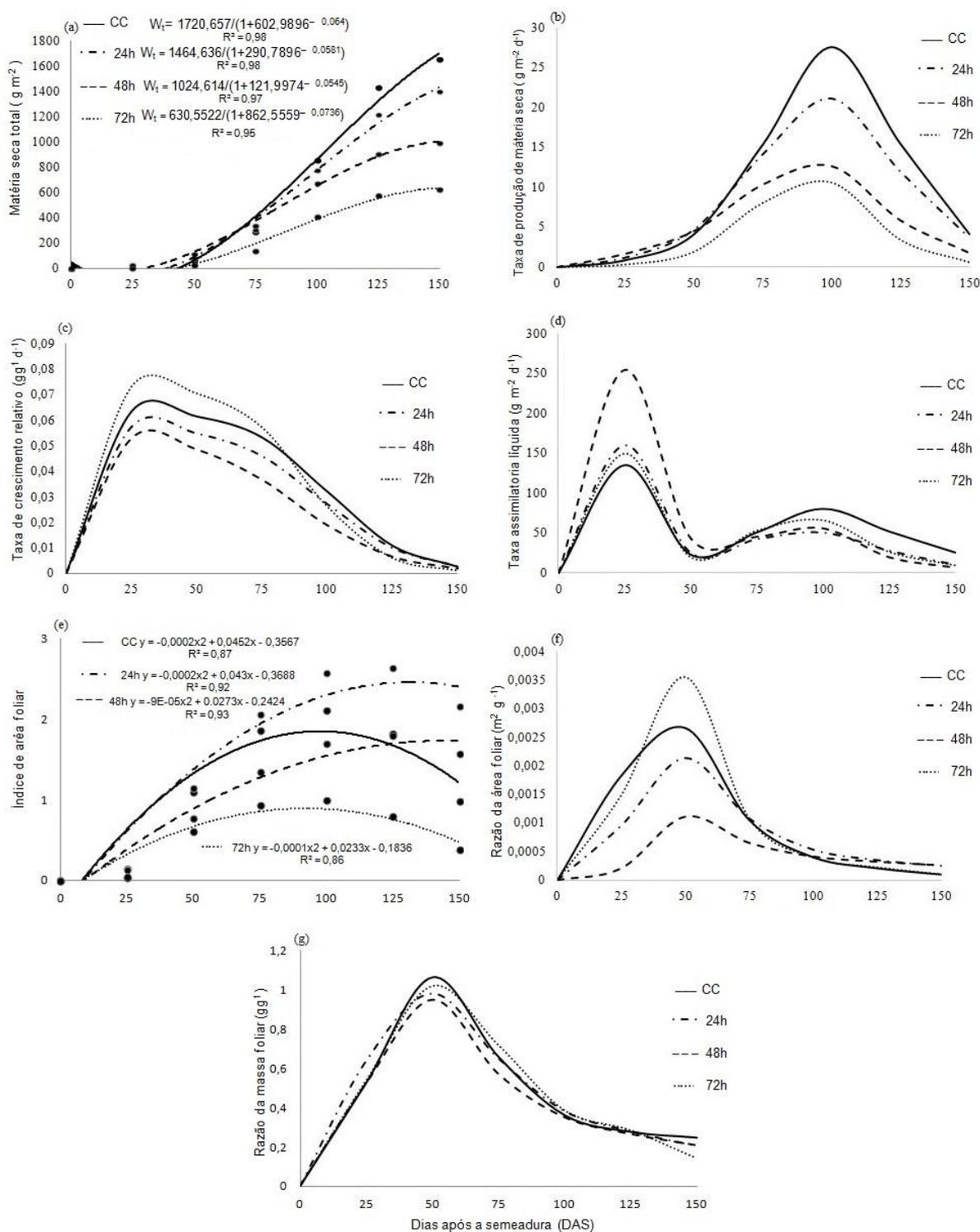


Figura 1. Matéria seca total (a), taxa de produção de matéria seca (b), taxa de crescimento relativo (c), taxa assimilatória líquida (d), índice de área foliar (e) razão de área foliar (f), de plantas de milho (*Z. mays* L.) submetidas a períodos de alagamento temporário do solo. Sendo: capacidade de campo (—); 24h (- · - ·); 48h (- - -) e 72h de alagamento (.....).

Plantas sob capacidade de campo, atingiram a C_t de $27,53 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, enquanto, aquelas sob influência de 24; 48 e 72h de alagamento apresentaram as taxas de produção de matéria seca de 21,17; 12,60; $10,62 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente.

Os resultados obtidos para C_t demonstram menor produção de matéria seca por unidade de tempo ao comparar plantas sob alagamento do solo comparativamente às plantas mantidas sob capacidade de campo. Ademais, o aumento na taxa de produção de matéria seca pode ser atribuída ao aumento da área foliar e do montante de assimilados sintetizados, destinados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal. Por outro lado, o decréscimo de C_t relaciona-se ao aumento da idade da planta e de tecidos não fotossintetizantes (LOPES et al., 1986; REYES-CUESTA et al., 1995).

A taxa de crescimento relativo (R_w) foi máxima no início do ciclo de desenvolvimento das plantas com posterior tendência sistemática de redução (Figura 1c). Aos 125 DAS, ocorreu à superioridade de R_w de 0,00093; 0,00432 e $0,00487 \text{ gg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para plantas mantidas a influência de 24; 48 e 72h de alagamento, comparativamente às plantas sob capacidade de campo. Desse modo, quanto maior o período de alagamento temporário do solo, superior foi à capacidade das plantas de milho de incrementar sua matéria seca em relação àquela existente.

No início do ciclo de desenvolvimento, a alta quantidade de folhas jovens eleva a capacidade de síntese de assimilados via fotossíntese, favorecendo a obtenção dos maiores valores de taxa de crescimento relativo (AUMONDE et al., 2011). Com o avanço da idade da planta, o decréscimo de R_w é esperado devido o aumento de tecidos não assimilatórios, da atividade respiratória e do aumento do autossombreamento (BENINCASA, 2004), declínio da taxa assimilatória líquida e da área de folhas útil para a fotossíntese (FONTES et al., 2005). O alagamento do solo promove a menor fixação do carbono devido a indução do fechamento estomático, podendo reduzir a R_w .

A taxa assimilatória líquida (E_a) foi máxima no início do ciclo de cultivo em plantas sob todos os períodos de alagamento do solo (Figura 1d). Ocorreu um segundo pico de taxa assimilatória líquida aos 100 DAS quando plantas sob capacidade de campo apresentaram superioridade de 15; 24 e 30%

comparativamente às plantas sob efeito de 24, 48 e 72h, mantendo-se superiores até os 150 DAS.

Desse modo, o alagamento do solo não modificou a tendência ontogênica esperada para E_a , contudo, foi capaz de modificar quantitativamente este parâmetro de crescimento. É possível que, plantas sob efeito do alagamento do solo, tenham atingido menor diferença entre a fotossíntese bruta e a respiração, resultando na menor produção de matéria seca total (Figura 1a). Neste sentido, as maiores E_a se relacionam ao aumento de área foliar que colabora para o incremento das taxas de fotossíntese, sendo o segundo pico de E_a , decorrente do surgimento das estruturas reprodutivas da planta (URCHEI et al., 2000).

O índice de área foliar (L) foi obtido com elevado coeficiente de determinação tanto em plantas mantidas na capacidade de campo quanto naquelas sob efeito do alagamento do solo ($R^2 \geq 0,86$). Até os 50 DAS, o índice de área foliar manteve-se baixo (Figura 1e), colaborando para as reduzidas W_t e E_a observadas no referido período (Figura 1a e 1d). Cabe salientar que plantas expostas à 72h de alagamento do solo atingiram menores valores de L comparativamente às aquelas submetidas a 24h de alagamento do solo e às aquelas mantidas na capacidade de campo. O índice de área foliar pode ser reduzido drasticamente pelo processo de senescência e morte foliar (Da Silva & Nascimento Jr., 2006), resultando no menor desempenho de crescimento das plantas, conforme verificado para F_a e R_w aos 100 DAS, onde o alagamento apresentou decréscimo para as variáveis.

A razão da área foliar (F_a) foi crescente em plantas de todos os tratamentos do solo até os 50 DAS (Figura 1f). Plantas mantidas na capacidade de campo, 24, 48 e 72h de alagamento do solo atingiram as F_a de 0,002656; 0,002137; 0,001112 e 0,003555 $m^2 g^{-1}$ aos 50 DAS. Contudo após este período, houve tendência de redução na razão de área foliar, sendo que a partir dos 75 DAS após a semeadura, plantas sob alagamento de 24h foram superiores (0,000534 $m^2 g^{-1}$) quando comparadas às aquelas sob efeito de 48h (0,000411 $m^2 g^{-1}$), capacidade de campo (0,000398 $m^2 g^{-1}$) e 72h de alagamento (0,000395 $m^2 g^{-1}$).

A partir dos 125 DAS até o final do desenvolvimento ocorreu similaridade entre F_a de plantas sob capacidade de campo e aquelas sob 72h de alagamento do solo, que foram moderadamente inferiores às plantas dos demais tratamentos. A moderada superioridade de F_a observada em plantas submetidas aos períodos de alagamento do solo evidencia tendência de maior área útil ao processo fotossintético, podendo constituir tentativa de sobrevivência frente ao estresse imposto.

No início do desenvolvimento, quando acabam as reservas armazenadas na semente, a planta investe energia para a formação do aparato fotossintético visando o aumento da produção líquida de assimilados (LOPES & LIMA, 2015). Sendo assim, valores mais elevados de F_a no início do desenvolvimento são decorrentes da maior quantidade de assimilados destinados à formação de folhas, objetivando maior captação de radiação solar (AUMONDE et al., 2011). Entretanto com o avanço da ontogenia da planta, ocorre o aumento de tecidos com menor capacidade fotossintética e de estruturas reprodutivas, colaborando para o decréscimo de F_a (PEDÓ et al., 2013).

De maneira semelhante ao ocorrido à razão de área foliar, a razão de massa foliar (F_w) aumentou até os 50 DAS com posterior tendência ao decréscimo até o final do ciclo de desenvolvimento de plantas de milho (Figura 1g), demonstrando o padrão ontogênico esperado (AUMONDE et al., 2011; PEDÓ et al., 2013). Todavia, ao final do desenvolvimento, plantas mantidas na capacidade de campo foram superiores aquelas sob influência de 24 e 48h de alagamento, sendo resultados mais marcantes obtidos comparativamente, às plantas sob 72h de alagamento do solo.

O alagamento do solo pode aumentar a abscisão foliar e assim reduzir a quantidade de assimilados armazenados nas folhas (VISSER et al., 2003). Este estresse abiótico modifica o balanço hormonal da planta de forma que em situações de excesso de água no sistema radicular induz a produção do etileno e sua difusão é dificultada, aumentando a concentração endógena, resultando na queda de folhas e no decréscimo do alongamento da raiz (YIN et al., 2009).

A partição de matéria seca entre as diferentes estruturas das plantas de milho foi alterada sequencialmente em plantas submetidas a todos os

tratamentos, havendo similaridade na alocação de matéria seca nas diferentes estruturas das plantas, no início do desenvolvimento (Figura 2a, b, c, d).

Ao longo do desenvolvimento, as plantas, modificam a preferencialidade do dreno. Inicialmente o dreno metabólico preferencial são as folhas e raízes, contudo, com o início do surgimento das estruturas reprodutivas ocorre o direcionamento dos assimilados das folhas para as sementes em maior quantidade e intensidade, já que tais órgãos passam a se comportar como drenos preferenciais e definitivos (LOPES et al., 2011). Com o surgimento das estruturas reprodutivas, raízes, caules e folhas continuam a importar assimilados, entretanto, em menor quantidade, visando sua manutenção estrutural.

Após a aplicação dos períodos de alagamento do solo, houve em relação a plantas mantidas na capacidade de campo, similaridade na alocação de matéria seca em folhas e raízes de plantas de todos os tratamentos (Figura 2a, b, c, d). Para alocação de matéria seca em colmo, houve superioridade de plantas submetidas ao alagamento temporário do solo, sendo resultados mais evidentes observados para o período de 72h. Já em espigas, este mesmo período de alagamento do solo, resultou na menor porcentagem de matéria seca alocada.

O alagamento do solo alterou quantitativamente a partição de matéria seca entre as diferentes estruturas da planta possivelmente, devido às alterações fisiológicas decorrentes do estresse ocasionado pelo alagamento do solo e que resultaram na modificação de diferentes atributos de crescimento (Figura 1). A modificação da quantidade de matéria seca alocada em sementes mantém relação a sua qualidade, sendo que sementes com menor quantidade de matéria seca alocada podem possuir menor qualidade (MONKS et al., 2006).

O índice de colheita (H_i) ajustou-se ao modelo quadrático e plantas mantidas na capacidade de campo foram superiores àquelas sob efeito dos diferentes períodos de alagamento do solo (Figura 3a). Plantas mantidas sob 24 e 72h de alagamento do solo reduziram em 10 e 22% o índice de colheita, comparativamente àquelas mantidas na capacidade de campo. A redução do índice de colheita possibilita verificar, em sementes produzidas sob influência

do alagamento do solo, a menor alocação de carbono em sementes em relação à matéria seca total alocada na planta.

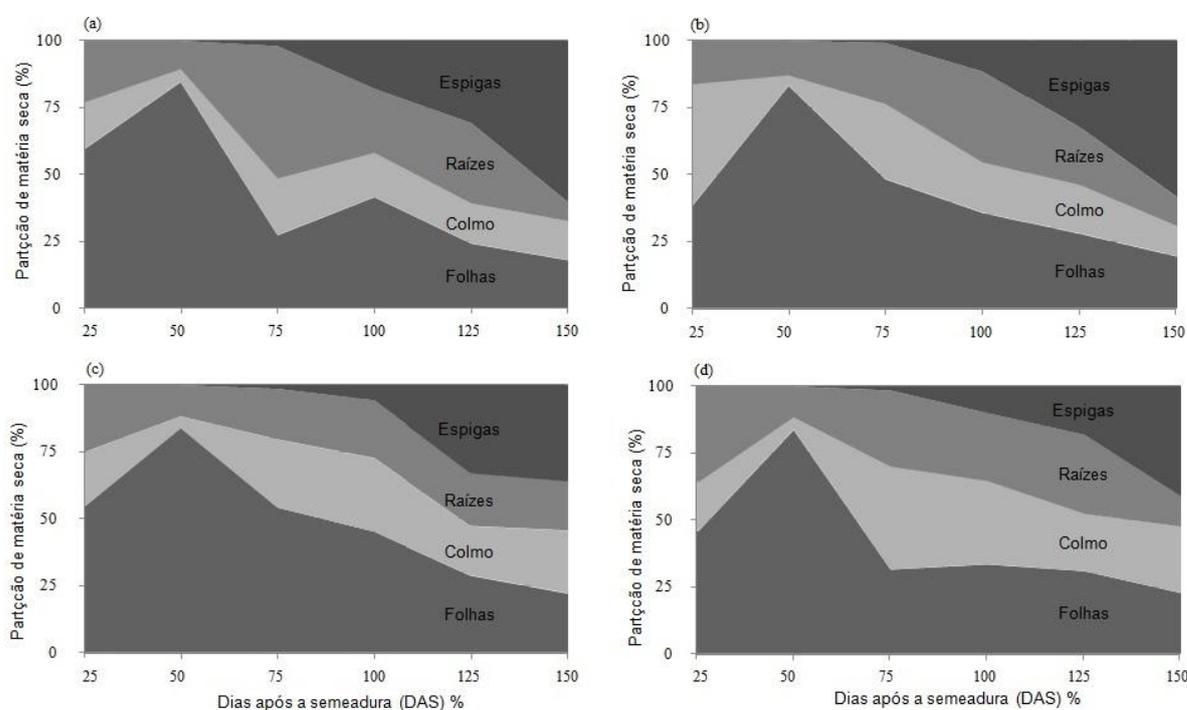


Figura 2. Partição de matéria seca entre diferentes estruturas de plantas de milho (*Z. mays* L.) submetidas a períodos de alagamento temporário do solo, sendo: capacidade de campo (a) e alagamento de 24h (b); 48h (c) e de 72h (d).

A redução do índice de colheita pode ser relacionada com as menores taxas assimilatórias líquidas observadas no período reprodutivo, em plantas sob efeito do alagamento do solo (Figura 3a). Neste sentido, a alocação de carbono possui relação com a eficiência de diferentes processos fisiológicos e bioquímicos. Estes processos são influenciados pela diminuição ou ausência dos níveis de oxigênio no solo (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O alagamento pode influenciar negativamente as trocas gasosas, o processo fotossintético e reduzir a fixação de carbono (PEZESHKI, 2001). O excesso de água nas raízes inibe a respiração aeróbica, limitando a síntese mitocondrial de ATP, limita a capacidade de absorção e transporte de água e nutrientes para a parte aérea e reduz a energia disponível para o crescimento e desenvolvimento (LIAO & LIN, 2001).

A emergência e o índice de velocidade de emergência de plântulas apresentaram tendência de redução com o aumento do período de alagamento do solo (Figura 3b e 3c). Desse modo, a expressão do vigor de sementes de milho foi influenciada negativamente pelo incremento do alagamento do solo, sendo resultados mais drásticos observados após 72h de alagamento do solo.

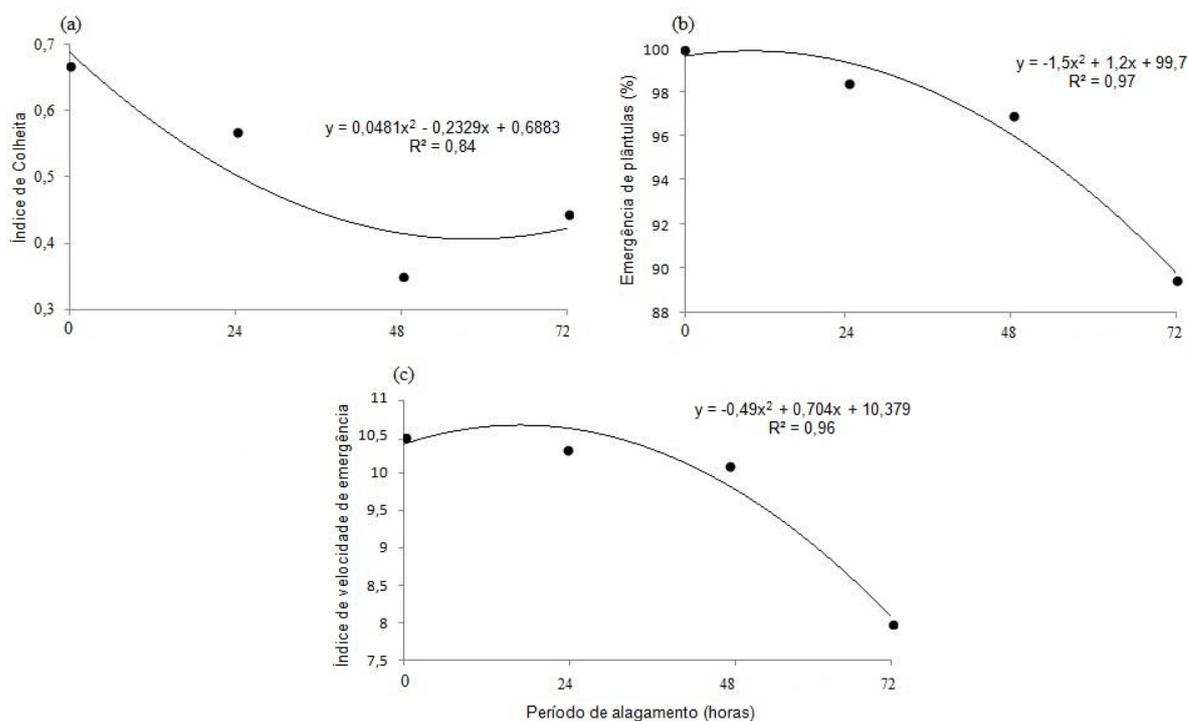


Figura 3. Índice de colheita (a), emergência (b) e índice de velocidade de emergência de plântulas de milho (*Z. mays* L.) (c) originadas de plantas submetidas a períodos de alagamento temporário do solo.

O vigor de sementes mantém estreita relação com as condições ambientais em que a planta e as sementes se desenvolvem, se relaciona a capacidade de reorganização do sistema de membranas celulares, a hidrólise, translocação e alocação de assimilados para a nova plântula, podendo influenciar diretamente a semente ou indiretamente, ao alterar a normalidade do crescimento e do desenvolvimento da planta matriz (PESKE et al., 2012). Logo, condições adversas de cultivo ou de ambiente, conduzem a redução do vigor e do potencial fisiológico das sementes.

2.4 Conclusões

Plantas de milho submetidas aos períodos de 48 e 72h de alagamento de solo apresentam alteração negativa no crescimento e na partição de assimilados ao longo do seu desenvolvimento;

Ocorre redução no índice de colheita, razão da massa foliar, taxa de crescimento relativo e taxa de produção de matéria seca em plantas submetidas aos períodos de alagamento de 48 e 72h, comparativamente àquelas mantidas sob capacidade de campo.

A expressão do vigor de sementes é reduzida em plantas sob alagamento do solo, sendo resultados mais evidentes observados após o período de 72h de alagamento temporário do solo.

3. Capítulo II

Desempenho fisiológico e rendimento de sementes de milho sob influência de períodos de alagamento do solo

3.1 Introdução

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família das poaceas, sendo cultivado em condições de clima tropical, subtropical e temperado. A área cultivada com a espécie no Brasil na primeira safra 2014/15 foi de 6.156,1 mil hectares e na segunda safra foi de 9.587,6. A produtividade nas principais regiões de cultivo de milho no Sul do Brasil em condições edafoclimáticas favoráveis pode atingir de 12 a 13 t ha⁻¹ (CONAB, 2015).

A espécie responde à interação de elementos climáticos, sendo a radiação solar, a precipitação e a temperatura os fatores que exercem a maior influência sobre a cultura, por atuarem na fisiologia da planta (BRACHTVOGEL et al., 2009). De modo geral, o alagamento do solo reduz a difusão de etileno e aumenta sua concentração endógena nos tecidos vegetais (YIN et al., 2009), levando a redução da área foliar e da razão de área foliar (GAZOLLA NETO et al., 2012), aumenta a concentração de amido nas folhas (IRFAN et al., 2010), reduz as taxas fotossintéticas devido a retroinibição (ARAYA et al., 2006), formando-se no solo ácidos orgânicos alifáticos de cadeia curta (SCHMIDT et al., 2010) e a via metabólica utilizada é a fermentação anaeróbica, com menor produção de energia (BAILEY SERRES & VOESENEK, 2008).

A qualidade das sementes mantém relação com as condições ambientais em que a planta e a semente se desenvolvem, compreendendo características que determinam o valor para a semeadura (MARCOS FILHO, 2005). Para sua determinação é utilizado o teste de germinação que é conduzido em condições

adequadas de ambiente, visando reproduzir condições mais próximas daquelas encontradas no campo, e desenvolvido testes como o de condutividade elétrica e de crescimento de plantas em termos de massa e de comprimento (PESKE et al., 2012).

A alteração do metabolismo e das taxas fotossintéticas altera o crescimento e o desenvolvimento vegetal, podendo reduzir a qualidade fisiológica das sementes e a diminuição de atributos de rendimento, existindo respostas diferenciais entre espécies e genótipos (PRYOR et al., 2006). Ao estudar o efeito do alagamento do solo em plantas de soja, Ludwig (2010), observou a redução no desempenho fisiológico de sementes derivadas de plantas expostas ao alagamento do solo. Thomas e Costa (2010) relataram que o alagamento durante a fase vegetativa tem efeito negativo sobre o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, sobre o potencial rendimento de sementes.

Para plantas de *Brachiaria* spp., Caetano & Dias-Filho (2008), observou o decréscimo da taxa de crescimento relativo em três acessos dos seis observados, com exceção de um acesso, observou que o alagamento reduziu a fotossíntese líquida, a condutância estomática e a transpiração dos acessos. Dias-Filho (2005), trabalhando com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. decumbens* e *B. humidicola* sob alagamento do solo, observou uma alta correlação negativa entre o acúmulo de amido nas folhas e a capacidade fotossintética dessas espécies.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o desempenho fisiológico e alguns dos atributos de rendimento de sementes de milho em resposta a períodos de alagamento temporário do solo.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no campo didático e experimental, situado no *Campus* Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, na localização geográfica de 31° 52' S e 52° 21' W, sendo as determinações referentes ao desempenho fisiológico realizadas no Laboratório Didático de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes.

Para a obtenção das sementes utilizadas na determinação da resposta aos períodos de alagamento do solo, foi estabelecido o cultivo de um genótipo de milho

(*Zea mays* L.), a partir de material propagativo com germinação de 95%, o qual foi coletado no município de Ametista do Sul - RS, nas coordenadas geográficas de 27° 21' S e 53° 10' W.

As plantas foram cultivadas em solo do tipo Planossolo Hidromórfico com textura franco-arenosa (EMBRAPA, 1999). O espaçamento adotado entre linhas e entre plantas foi de 45 e 36 centímetros, respectivamente, resultando na densidade populacional de 55.000 plantas ha⁻¹ (BORGHI & CRUSCIOL, 2007).

A correção do solo foi efetuada de acordo com análise prévia e segundo recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (2004) e a irrigação feita quando houve períodos de estiagem.

Para o estabelecimento do alagamento do solo foram construídas “marachas” no entorno de cada parcela, caracterizando o sistema de tabuleiros. Os períodos de alagamento do solo foram impostos a partir da inundação e manutenção da lâmina de água de 20 milímetros acima do solo e dentro dos tabuleiros. Decorrido cada período, procedeu-se a abertura das “marachas” dos tabuleiros e efetuou-se a retirada da lâmina de água e a drenagem do solo.

Após o final do ciclo de desenvolvimento, aos 150 dias após a semeadura, as sementes foram colhidas com umidade de 35% e as espigas levadas para secagem em estufa com temperatura de 30°C até atingirem a umidade 14%, sendo posteriormente, efetuada a debulha manual das sementes.

Para avaliar o efeito dos períodos de alagamento no desempenho fisiológico e no rendimento de sementes de milho foram realizados os seguintes testes:

a) Teste de condutividade elétrica: conduzido por meio de quatro repetições de 25 sementes com massa previamente determinada, as quais foram dispostas em recipientes de polietileno para embeber em 75 mL de água deionizada e colocadas em germinador do tipo B.O.D., sob temperatura de 25°C. Após os períodos de 6; 12 e 24 horas de embebição, foram realizadas as leituras em condutímetro DM-32. Os resultados obtidos foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

b) Massa de mil sementes: determinada a partir de oito subamostras de 100 sementes, os resultados foram expressos em gramas (g), conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

c) Número de fileiras de sementes por espiga: determinado a partir de contagem direta, utilizando quatro subamostras de dez espigas por tratamento. Os resultados foram expressos em número médio de fileiras de sementes por espiga.

d) Número de sementes por espiga: a determinação foi por contagem direta do número de sementes por espigas. Para isso, foram utilizadas dez subamostras de 10 espigas por tratamento. Os resultados foram expressos em número médio de sementes por espiga.

e) Germinação: o teste foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento, sendo as sementes dispostas entre três folhas de papel de germinação, umedecidas com água na proporção de 2,5 vezes, a massa do papel seco. Foram formados rolos de papel, os quais foram transferidos para câmara de germinação do tipo B.O.D. a temperatura de 25°C. A avaliação foi realizada aos sete dias após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

f) Primeira contagem da germinação: realizada conjuntamente ao teste de germinação, quatro dias após a semeadura, conforme indicação de Regras de Análises de Sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

g) Índice de velocidade de germinação: obtido a partir de contagens diárias das sementes germinadas com protrusão radicular mínima de 3 a 4 mm. As contagens foram realizadas até a obtenção do número constante de sementes germinadas e o índice de velocidade de germinação foi de acordo com recomendação de (NAKAGAWA, 1994).

h) Comprimento de parte aérea e de raiz primária das plântulas: foram utilizadas quatro subamostras de 10 plântulas, ao final do teste de germinação. O comprimento de parte aérea foi obtido pela distância entre a inserção da porção basal da raiz primária ao ápice da parte aérea e o comprimento da raiz primária foi determinado pela distância entre a parte apical e basal da raiz primária. Os resultados foram expressos em milímetros por plântula (mm plântula^{-1}).

i) Massa seca da parte aérea e da raiz primária: obtidas a partir de quatro subamostras de 10 plântulas, ao final do teste de germinação. Para isso, as plântulas foram acondicionadas em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, a temperatura de 70°C, até massa constante. Os resultados expressos em miligramas por plântula (mg plântula^{-1}).

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância

e quando significativos a 5% de probabilidade, os resultados foram expressos por polinômios ortogonais.

3.3 Resultados e Discussão

Não ocorreu diferença significativa a 5% de probabilidade para germinação e primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento e matéria seca de raízes ao avaliar o desempenho fisiológico de sementes de milho submetidas a períodos de alagamento temporário do solo (dados não apresentados). Contudo, a resposta ao estresse imposto é dependente de características inerentes de cada espécie. Gehling et al. (2015) observaram que sementes de centeio produzidas sob influência do alagamento do solo reduzem a germinação pela redução do número de plântulas normais e diminuem o vigor pelo menor número de sementes germinadas por dia.

Houve redução da massa de mil sementes ao incrementar o período de alagamento do solo (Figura 1a). A massa de mil sementes atingiu o ponto de máxima resposta em 20h, ocorrendo redução de 74% neste atributo de rendimento em sementes produzidas sob períodos de alagamento do solo de 72h, comparativamente àquelas produzidas na condição de capacidade de campo. Este atributo físico das sementes se relaciona com a quantidade de assimilados alocados durante o seu desenvolvimento, sendo que, sementes que se desenvolvem em ambiente mais favorável tendem a atingir maior massa de mil sementes (PESKE et al., 2012).

Cabe salientar que a massa de sementes é dependente do tamanho e da duração de funcionamento do aparelho fotossintético, bem como da eficiência de translocação de fotoassimilados, do período de enchimento das sementes e das condições edafoclimáticas durante o desenvolvimento da planta matriz e da semente (VIEIRA JUNIOR & DOURADO NETO, 2008). Neste sentido, o alagamento do solo modifica o balanço hormonal da planta de forma que em situações de excesso de água no sistema radicular reduz a difusão do etileno para fora das células, aumentando a concentração endógena e resultando na senescência e queda de folhas (YIN et al., 2009).

Durante o alagamento do solo, a fixação do carbono pelo processo fotossintético é afetada negativamente devido a menor difusão de oxigênio e a

redução das trocas gasosas entre o sistema de raízes e os espaços porosos onde as mesmas se desenvolvem (MAGALHÃES & SOUZA, 2011), resultando na diminuição na produção de ATP e no inadequado desenvolvimento vegetal (HORCHANI et al., 2008).

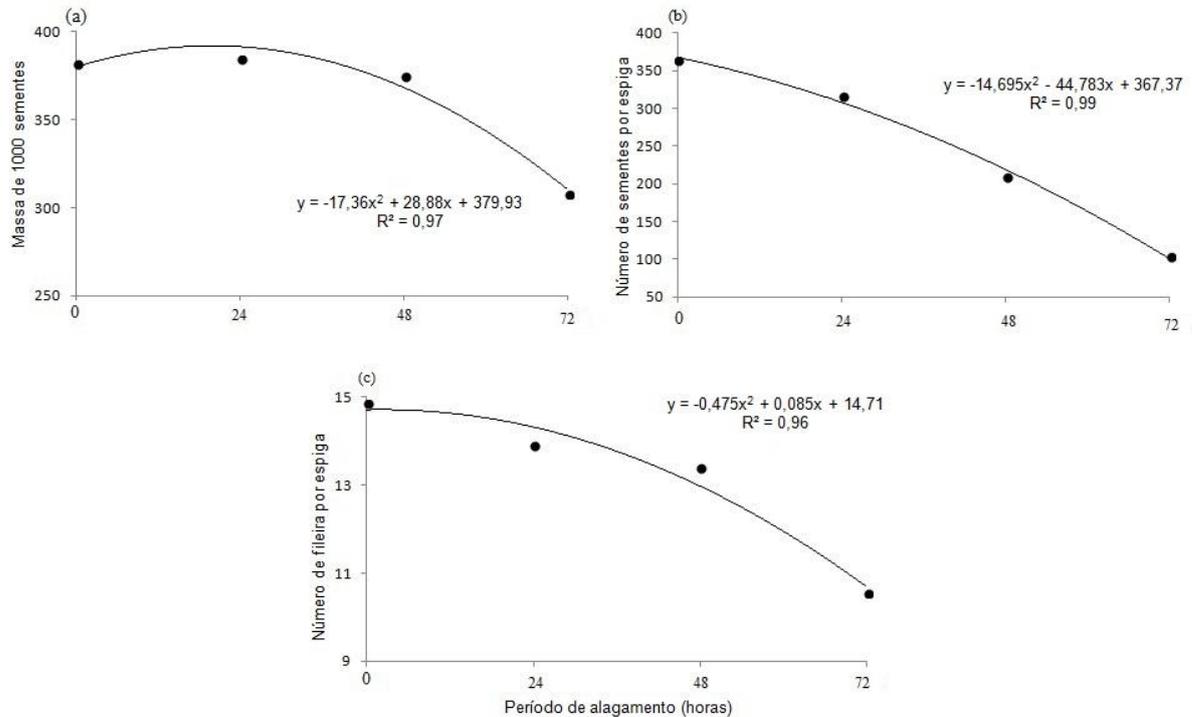


Figura 1. Massa de mil sementes (a), número de sementes por espiga (b) e número de fileiras por espiga (c) em plantas de milho (*Z. mays* L.) cultivadas sob condição de períodos de alagamento temporário do solo de 0; 24; 48 e 72h.

O número de sementes por espiga se ajustou ao modelo quadrático com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,99$), sendo reduzido pelo aumento do período de alagamento do solo atingindo o ponto de máxima resposta em 37% (Figura 1b). Comparativamente às plantas mantidas na capacidade de campo, ocorreu redução na ordem de 46,67; 154,75 e 260,20% no número de sementes por espiga quando as plantas foram submetidas ao alagamento temporário do solo por 24; 48 e 72 horas respectivamente. Estes resultados podem ser explicados pelo fato do alagamento do solo ter ocorrido entre os estádios de desenvolvimento V8 e V9 e do número de sementes por espiga ser definido entre os estádios V9 e V12 (MAGALHÃES & SOUZA, 2011).

No estádio de desenvolvimento V12, a ocorrência de estresse ambiental afeta negativamente o número de óvulos por fileira, conseqüentemente, o número de

sementes. Contudo, o nível de dano ocasionado à espiga depende da duração e da intensidade do estresse, sendo que em período de curta duração e elevada intensidade, o dano pode ocorrer em qualquer posição da espiga (MAGALHÃES & SOUZA, 2011).

O número de fileiras por espiga se ajustou ao modelo quadrático com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,96$) atingindo o ponto de máxima resposta em 2,15% (Figura 1c). Em relação a espigas produzidas por plantas mantidas na capacidade de campo, houve redução de 0,95; 1,45 e 4,30% no número de fileiras de plantas submetidas aos períodos de alagamento do solo de 24; 48 e 72 horas. Segundo Magalhães et al. (2002), o número de fileiras por espiga é definido no estágio V8 que corresponde ao estágio vegetativo de plantas, dotadas de oito folhas. Logo, qualquer estresse que ocorra nesta etapa do desenvolvimento de plantas de milho, pode afetar negativamente a formação do número de fileiras por espiga.

A condutividade elétrica (Figura 2) avaliada em sementes submetidas aos diferentes períodos de alagamento do solo, após 3; 6 e 24 horas de embebição, ajustou-se ao modelo quadrático com elevado coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,99$). Houve aumento da liberação de eletrólitos com o aumento do período de estresse imposto e com o tempo de embebição. Após 3 horas de embebição, ocorreu superioridade de 0,41; 0,58 e 1,55% (Figura 2a) na liberação de eletrólitos de sementes produzidas por plantas submetidas ao alagamento temporário do solo por 24; 48 e 72 horas e comparativamente a sementes produzidas sob capacidade de campo.

Decorridas 6 horas de embebição, as sementes produzidas sob alagamento temporário do solo de 24; 48 e 72 horas apresentaram superioridade na lixiviação de exsudatos na ordem de 0,56; 0,79 e 2,61% (Figura 2b) comparativamente àquelas mantidas na capacidade de campo. Às 24 horas de embebição, sementes produzidas sob 24; 48 e 72 horas foram superiores àquelas produzidas sob capacidade de campo na ordem de 1,27; 1,97 e 4,76% (Figura 2c).

Neste sentido, em todos os tempos de embebição avaliados, sementes produzidas por plantas submetidas ao alagamento do solo apresentaram menor capacidade de reorganização do sistema de membranas celulares. A eficiência na manutenção da integridade das membranas celulares é essencial para a retomada do eficiente processo respiratório que via processos de oxidação dos quais fornece energia através dos compostos para o desenvolvimento da plântula, mantendo

elevada relação com a máxima expressão do vigor de sementes (MARCOS FILHO, 2005).

A menor capacidade de reorganização do sistema de membranas celulares pode estar relacionada com a alteração do padrão de desenvolvimento da espécie, que segundo Wu et al. (2009), possui o clássico padrão de desenvolvimento de sementes apresentado por sementes ortodoxas, englobando a síntese e alocação de carboidratos, lipídeos e proteínas. Na fase final de formação, ocorre a deposição de proteínas LEA e de oligossacarídeos da série rafínósica, os quais atuam na estabilização das membranas celulares proporcionando tolerância ao processo de desidratação (FERREIRA & BORGHETTI, 2008). O estresse pode ocasionar mudança na preferencialidade do dreno metabólico em relação a determinados compostos, reduzindo sua deposição e a qualidade das sementes (GEHLING et al., 2015).

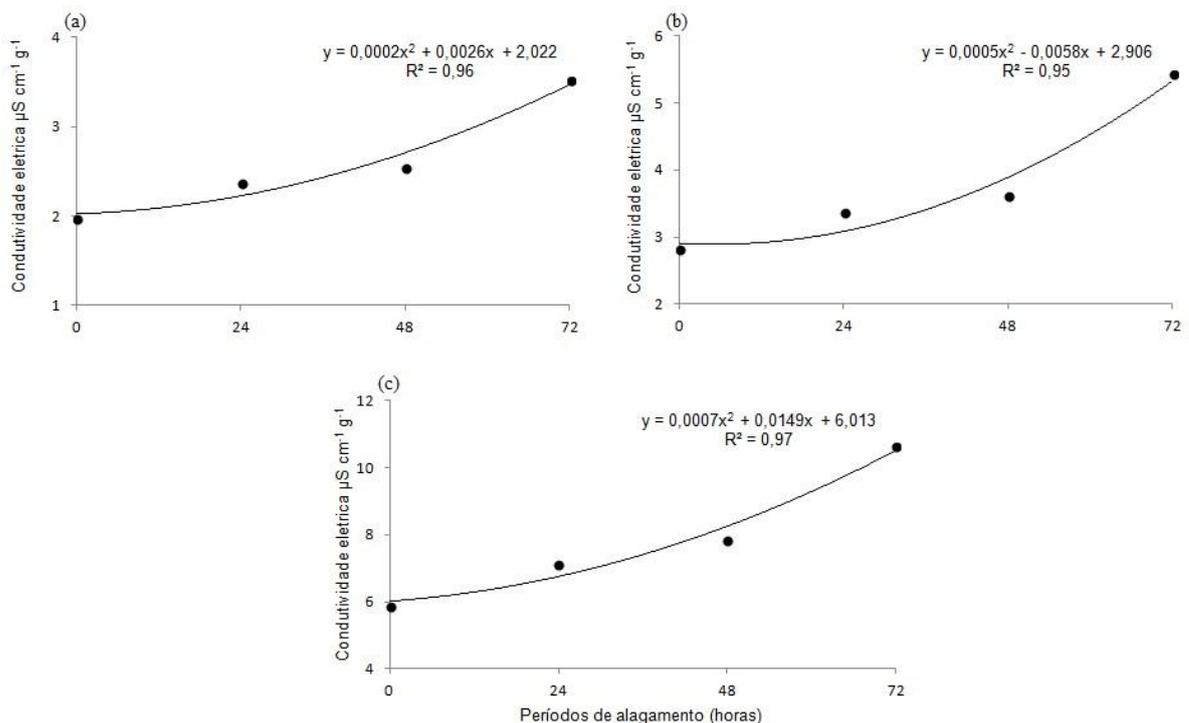


Figura 2. Condutividade elétrica após 3; 6 e 24 horas (a; b; c) de embebição de sementes de milho (*Z. mays* L.) produzidas por plantas submetidas a diferentes períodos de alagamento do solo, sendo: 0 (CC); 24; 48 e 72 horas de alagamento temporário do solo.

O comprimento e a matéria seca de parte aérea se ajustaram ao modelo quadrático ($R^2 \geq 0,91$ e $0,77$), ocorrendo aumento expressivo nestes dois atributos

de crescimento em plântulas originadas por sementes produzidas sob influência de 72 horas de alagamento temporário do solo (Figura 3). Para o comprimento e para a matéria seca de parte aérea, houve em comparação às sementes produzidas por plantas mantidas na capacidade de campo, aumento de 21% e de 10% em plântulas originadas de sementes produzidas sob 72 horas de alagamento do solo.

O incremento no comprimento de parte aérea colabora para a elevação da matéria seca (BURGOS et al., 2004). Em plântulas originadas a partir de sementes produzidas sob influência do alagamento do solo, houve evidência da maior eficiência de alocação de carbono mesmo que as sementes produzidas tenham atingido maior liberação de eletrólitos no teste de condutividade elétrica (Figura 2). A alocação de matéria seca mantém relação com a eficiência e de hidrólise e translocação de assimilados, sendo indicativo da qualidade da semente (CARVALHO et al., 2011). Para a espécie *Brachiaria brizantha* que é planta da mesma família do milho, algumas cultivares produzem maior massa seca em parte aérea quando submetidas ao alagamento do solo (KROTH et al., 2015).

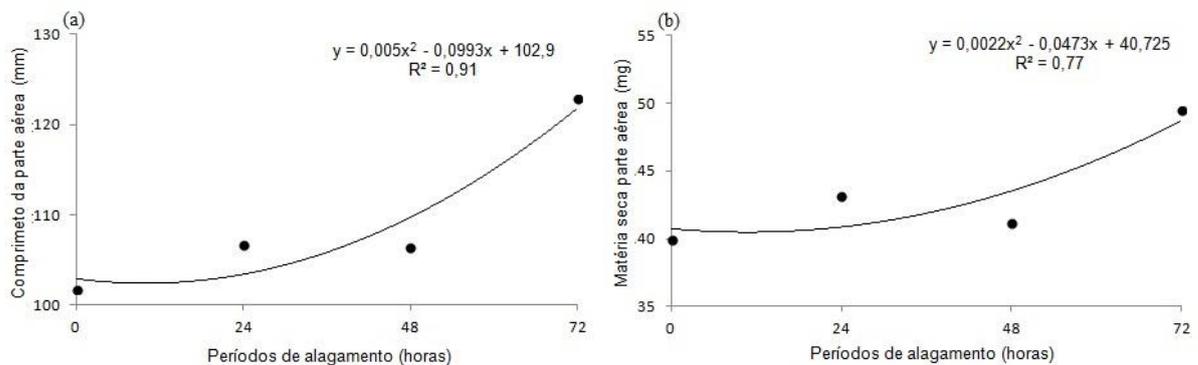


Figura 3. Comprimento (a) e matéria seca da parte aérea (b) de plântulas de milho (*Z. mays* L.) submetidas ao alagamento do solo. Sendo: 0; 24; 48 e 72 horas de alagamento temporário do solo.

O alagamento do solo afeta negativamente plantas de milho, referindo-se ao rendimento, massa de mil sementes, número de sementes por espiga, número de fileiras por espiga e no vigor de sementes. Contudo quando avaliada a qualidade das sementes e o desempenho fisiológico das plântulas, houve acréscimo no comprimento e na matéria seca da parte aérea.

3.4 Conclusões

O alagamento temporário do solo influencia, conforme o período de estresse, o desempenho fisiológico e os atributos do rendimento de sementes de milho;

Com o aumento do período de alagamento do solo em até 72 horas, ocorre incremento da lixiviação de eletrólitos em sementes de milho;

Sementes produzidas sob 72 horas de alagamento do solo têm redução da massa de mil sementes, número de sementes por espiga e número de fileiras por espiga.

4. Considerações finais

A partir da análise dos resultados de atributos fisiológicos do crescimento de plantas, característica física e a expressão do vigor de sementes de milho sob influência de períodos de alagamento temporário do solo, é possível observar que o estresse influencia negativamente o crescimento e a partição de assimilados em plantas de milho, sendo a intensidade de resposta, dependente do período de alagamento.

Em sementes de plantas submetidas aos maiores períodos de alagamento do solo ocorre redução da emergência, índice de velocidade de emergência, índice de colheita e dos componentes de rendimento.

A massa de mil sementes é reduzida quando plantas de milho são submetidas a 72 h de alagamento do solo, contudo, ocorre elevação da condutividade elétrica de sementes em plantas sob influência de 72h de alagamento do solo.

O alagamento temporário do solo por 72 h influencia negativamente o desempenho de sementes e plantas de milho, todavia, cabe salientar a existência de respostas diferenciais relacionadas ao período de estresse e ao genótipo.

5. Referências bibliográficas

AGROMENSAL – CEPEA MILHO. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2015/10_outubro/Milho.htm>. Acesso em: 06 nov. 2015.

AHMED, C.B.; ROUINA, B.; SENSOY, S.; BOUKHRIS, M.; ABDALLAH F.B. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. **Environmental and Experimental Botany**, v.67, p.345-352. 2009.

ALVES, J.D.; MAGALHÃES, M.M.; GOULART, P.F.P.; DANTAS, B.F.; GOUVÊA, J.A.; PURCINO, R.P.; MAGALHÃES, P.C.; FRIES, D.D.; LIVRAMENTOS, D.E.; MEYER, L.E.; SEIFFERT, M.; SILVEIRA, T. Mecanismo de tolerância da variedade de milho “Saracuna” (BRS 4154) ao alagamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, p.41-52, 2002.

ALVES, J.D.; MAGALHÃES, M.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; VITORINO, P.F.P.G. Mecanismo de tolerância de plantas ao alagamento. **Universa**, v.8, p.221-242, 2000.

ARAYA, T.; NOGUCHI, K.; TERASHIMA, I. Effects of carbohydrate accumulation on photosynthesis differ between sink and source leaves of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Cell Physiology**, v. 47, p. 644-652, 2006.

ARMSTRONG, W.; BRANDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v.43, p.307-358, 1994.

ARRUDA, G. M. T. & CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore). **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p. 219-224, 2004.

AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; PEIL, R. M. N.; PEDÓ, T. Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Interciencia**, v. 36, p. 677-681, 2011.

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N.F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, v. 31, p.99-108, 2013.

BAILEY-SERRES, J. & VOESENEK, L.A.C.J. Flooding Stress: Acclimations and Genetic Diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-339, 2008.

BATISTA, C.U.N.; MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J.A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botânica Brasileira**, v.22, p.91-98, 2008.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia: FUNEP. 2004. 42p.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, v.39, p.2334-2339, 2009.

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

BORGHI, E. & CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.42, p.163-171, 2007.

BURGOS, N.R.; TALBERT, R.E.; KIM, K.S.; KUK, Y.I. 2004. Growth inhibition and root ultrastructure of cucumber seedlings exposed to allelochemicals from rye. **Journal of Chemical Ecology**, v.30, p. 671–690, 2004.

CAETANO, L.P.D & DAIS-FILHO, M.B. Resposta de seis acessos de capim-braquiária ao alagamento do solo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.795-801, 2008.

CARVALHO, F.D.; SANTOS, J.B.; CURY, J.P.; VALADÃO SILVA, D.; BRAGA, R.R.; BYRRO, E.C.M. Alocação de matéria seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Plantas Daninha**, v.29, p.373-382, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira 2014/15**: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2015. Brasília: Conab, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira 2013/14**: grãos, décimo segundo levantamento setembro 2014. Brasília : Conab, 2014.

COSTA, M.N.X. da. Desempenho de duas gramíneas forrageiras tropicais tolerantes ao estresse hídrico por alagamento em dois solos glei húmicos. p.89. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz.

COSTA, N.P.; PEREIRA, L.A.G.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C. Zoneamento ecológico do Estado do Paraná para produção de sementes de cultivares precoces de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.16, p.12-19, 1994.

CUSTÓDIO, C.C.; NETO, N.B.M.; ITO, H.M.; VIVAN, M.R. Efeito da submersão em água de sementes de feijão na germinação e no vigor. **Revista brasileira de sementes**, v.24, p.49-54, 2002.

DA SILVA & NASCIMENTO JR. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: PEREIRA, O.G.; OBEID, J.A.; NASCIMENTO Jr., D.; FONSECA, D.M. (Eds.). Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, III, Viçosa, 2006. **Anais...**Viçosa: UFV, p.1-42, 2006.

DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A.; ALVES, J.D. Cálcio e o desenvolvimento de aerênquimas e atividade de celulase em plântulas de milho submetidas a hipoxia. **Scientia Agrícola**, v. 58, p. 251-257, 2001.

DANTAS, B.F., ARAGÃO, C.A., CAVARIANI, C., NAKAGAW, J., RODRIGUES, J.D. Efeito da duração e da temperatura de alagamento na germinação e no vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, p.88-96, 2000.

DIAS-FILHO, M.B. Opções forrageiras para áreas sujeitas à inundação ou alagamento temporário. In: PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C.; DA SILVA, S.C.; FARIA, V.P. Teoria e prática da produção animal em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 22, 2005, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, p.71-93. 2005.

DUTRA, L. F.; TAVARES, S. W.; SARTORETTO, L. M.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, p. 91-96, 1995.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, p.412, 1999.

EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. 2005. (Sistemas de Produção, 3).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. Ed 2. p.212, 1997.

FERNÁNDEZ, M.D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosyntetica**, v.44, p.32-38, 2006.

FERREIRA, A.G. & BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado. Dados eletrônicos**. Porto Alegre: Armed, p. 275, 2008.

FONTES, P.C.R.; DIAS, E.N.; SILVA, D.J.H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.94-99, 2005.

FRIES, D.D.; ALVES, J.D.; FILHO, N.D.; MAGALHÃES, P.C.; GOULART, P.F.P.; MAGALHÃES, M.M. Crescimento de plântulas do milho saracura e atividade da alfa-amilase e invertases associadas ao aumento da tolerância ao alagamento exercido pelo cálcio exógeno. **Bragantia**, v.66, p.1-9, 2007.

GAZOLLA NETO, A.; AUMONDE, Z.T.; PEDÓ, T.; OLSEN, D.; VILLELA, A.F. Níveis de umidade do solo de várzea e seus efeitos sobre a emergência e crescimento inicial de plântulas de soja. **ABRATES**. v.22, p.28-31, 2012.

GEHLING, V.M.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. Effect of soil waterlogging stress on the physiological performance of seeds and on the productivity of rye plants. **Agrociencia**, v.19, p.41-47, 2015.

GIBBS, J. & GREENWAY, H. Review: Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. **Functional Plant Biology**. v.30, p.1-47, 2003.

GILL, S.S. & TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

HORCHANI, F.; GALLUSCI, P.; BALDET, P. Prolonged root hypoxia induces ammonium accumulation and decreases the nutritional quality of tomato fruits *Journal of plant physiology*. **Journal of Plant Physiology**, v.165, p.1352-1359, 2008.

IRFAN, M.; HAYAT, S.; HAYAT, Q.; AFROZ, S.; AHMAD, A. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. **Protoplasma**, v. 241, p. 3-17, 2010.

ISHIDA, F.Y.; OLIVEIRA, L.E.M.; CARVALHO, C.J.R.; ALVES, J.D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.6, p.1152-1159, 2002.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding. p. 129-159. 1984. In: T.T. Kozlowski (ed.). **Flooding and Plant Growth**. Academic Press, San Diego.

KOZLOWSKI, T.T. & PALLARDY, S.G. **Growth control in woody plants**. American Press: San Diego, p.254, 1997.

KROTH, B.E.; SILVA, E.M.B.; SILVA, T.J.A.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A.F. Cultivares de *Brachiaria brizantha* sob diferentes disponibilidades hídricas em Neossolo Flúvico. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.19, p.464-469, 2015.

KRZYŻANOWKI, F.C.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada. In: KRZYŻANOWKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.6 -68, 1999.

KÜRSTEINER, O.; DUPUIS I.; KUHLEMEIER, C. The pyruvate decarboxylase1 gene of *Arabidopsis* required during anoxia but not other environmental stresses. **Plant Physiology**. v.132, p.968-978, 2003.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council: Republic of China Part B**, v. 25, p.148-157, 2001.

LOPES, M.A.; PARENTONI, S.N.; MAGNAVACA, R. Adaptaciones morfológicas y fisiológicas em plantas de maiz sometidas a deficiência de oxigeneo em el suelo. In: IICA-BID-PROCANDIANO. **II Seminario de Mejoramiento pra Tolerancia a Factores Ambientales Adversos em el Cultivo de Maiz**. Ed. por B. Ramakrisna. Quito, Ec. PROCANDIANO, p.106-124. 1988.

LOPES, N. F.; OLIVA. M. A.; CARDOSO, M. J.; GOMES, M. M. S.; SOUZA, V. F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgares* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, v. 33, p. 142-164, 1986.

LOPES, N.F.; LIMA, M. da G. de S. **Fisiologia da produção**. Viçosa. Ed. UFV, p.492. 2015.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; DOMBROSKI, J. L. D.; RODRIGUES, G. S. O.; SOARES, A. M.; ARAÚJO, A. P. Análise do crescimento de tomate 'SM-16' cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 554-561, 2011.

LUDWIG, M.P. 2010. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de soja produzida em solo de várzea alagada (Tese Doutorado). Pelotas: Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. 115p.

MAGALHÃES P.C. & DURÃES, F.O.M. Fisiologia da Produção de Milho. **Comunicado técnico** 76. p.1-10. 2006.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, p.331-350, 1986.

MAGALHÃES, P.C. & SOUZA, T.C. Cultivo do Milho: Ecofisiologia. Embrapa Milho e Sorgo. **Versão eletrônica** – 8ª edição. 2011.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23 p. (EMBRAPA-CNPMS. **Circular Técnica**, 22). 2002.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177,1962.

Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Comissão de Química e Fertilidade do Solo** - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.

MARCHEZAN, E.; VIZZOTTO, V.R.; ROCHA, M.G.; MOOJEN, E.L.; SILVA, J.H.S. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Ciência Rural**, v.32, p.303-308, 2002.

MARCHI, S. L. Interação entre desfolha e população de plantas na cultura do milho na Região Oeste do Paraná. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p.58, 2008.

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

MARCOS FILHO, J. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, v.4, p. 33-35, 1994b.

MATÉS, J.M. Effects of antioxidant enzymes in the molecular control of reactive oxygen species toxicology. **Toxicology**, v.153, p.83-104, 2000.

MOLLARD, F. P. O.; STRIKER, G. G.; PLOCHUK, E. L.; VEGA, A. S.; INSAUSTI, P. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 203, p. 548-556, 2008.

MOMMER, L. & VISSER, E.J.W. Underwater photosynthesis in flooded terrestrial plants: a matter of leaf plasticity. **Annals of Botany**, v.96, p.581-89, 2005.

MONKS, P.L.; FERREIRA, O.G.L.; PÓLO, E.A.; SILVA, J.B. Produção e qualidade de sementes de *Macroptilium lathyroides* (L.). Urb. sob diferentes espaçamentos e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.107-112. 2006.

MONTEITH, J.L. **Light interception and radiative exchange in crop stands**. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.T.; VAN BAVEL, C.H.M. (eds.). Physiological aspects of crop yield. Madison: American society of Agronomy, 1969. p.89-111.

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

PEDÓ, T.; AUMONDE, T.Z.; LOPES, N.F.; VILLELA, F.A. MAUCH, C.R. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v.29, p.125-131, 2013a.

PEIXOTO, P. C. e PEIXOTO, P. S. F. M. Dinâmica do Crescimento Vegetal (**Princípios Básicos**). Cruz das Almas – BA, (AGRUFBA), p.20, 2004.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGUELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**, 3 ed, p.573, 2012.

PEZESHKI, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, n.46, p.299-312, 2001.

PIRES, J.L.F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.41-50, 2002.

PRYOR, R. J.; DAVISON, N. J.; CLOSE, D. C. Waterlogging duration; Interspecific comparison of *Leptospermum scoparium* (Forst et Forst.f.), *Acacia melanoxylon* (R. Br.), *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) and *Eucalyptus abliqua* (L'Herit). **Austral Ecology**, v. 31, p. 408-416, 2006.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v.7, p.171-175, 1967.

REIS, G.G. & MULLER, M.W. **Análise de crescimento de plantas – mensuração do crescimento**. CPATU, p.35, 1979.

REYES-CUESTA, R.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A.; FRANCO, A. A. Crescimento e conversão da energia Solar em *Phaseolus vulgaris* em função da fonte de nitrogênio. **Revista Ceres**, v. 42, p.405-455, 1995.

RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F. C. (ed) **Plant Physiology**. Atreatise. New York: Academic press, p. 3-76, 1969.

SAIRAM, R.K.; DHARMAR, K.; CHINNUSAMY, V.; MEENA, R.C. Waterlogging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). **Journal of Plant Physiology**, v.166, p.602-616, 2009.

SANTOS, A. B. dos. Aproveitamento da soca. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos.; SANT'ANA, E. P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antonio de Goias: Embrapa Arroz e Feijão, p.463-492, 1999.

SANTOS, D. S. B dos; SANTOS, F. B .G. dos; GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A.; SCHUCH, L. A. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja em função de níveis de umidade no solo diferenciados. In; **REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL**, 17, Porto Alegre, p.227, 1989.

SCHMIDT, F.; FORTES, M. A.; BOTOLON, L.; BOTOLON, E. S. O.; SOUSA, R. O. Nível crítico de toxidez do ácido acético em culturas alternativas para solos de várzea. **Ciência Rural**, v.40, p.1068-1074, 2010.

SEVERO, T. M.; JUNIOR, A. A. A. B.; ZENZEN, I. L.; XAVIER, C.; MITTELMANN, A.; AMARANTE, L. do. Efeito do alagamento sobre o crescimento de plantas noduladas de soja. **XVI Congresso de Iniciação Científica**, Universidade Federal de Pelotas, 2007.

SHAO, H.B.; CHU, L.Y.; JALEEL, C.A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215-225, 2008.

SUMMER, J.E.; RATCLIFFE, R.G.; JACKSON, M.B. Anoxia tolerance in the aquatic monocot potamogeton pectinatus: absence of oxygen stimulates elongation in association with an unusually large Pasteur effect. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.51, p.1413-1422, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

THOMAS, A.L. & COSTA, J.A. **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf. p.243, 2010.

THOMAS, A.L. Modificações morfológicas e assimilação de nitrogênio em plantas de soja (*Glycine max*) com sistemas radiculares sob deficiência de O₂. Tese de

Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, UNICAMP, Campinas. 2004.

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.V. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.497-506, 2000.

VEIGA, A.D.; VON PINHO, É.V.R.; VEIGA, A.D.; PEREIRA, P.H.A.R.; OLIVEIRA, K.C.; VON PINHO, R.G. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.953-960, 2010.

VERNETTI JUNIOR, F.J. **Soja: resultados de pesquisa na Embrapa Clima Temperado – 2009**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 273). p.78, 2009.

VIEIRA JUNIOR, P.A. & DOURADO NETO, D. Milho. In: CASTRO, P.R.C., KLUGE, R.A.; SESTARI, I. (Eds.) **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. 1ª ed. Piracicaba, Ceres. p.130-156. 2008.

VISSER, E. J. W.; VOESENEK, L. A. C. J.; VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Flooding and Plant Growth. **Annals of Botany**, v. 91, p. 107-109, 2003.

WANG, X.; LIU, T.; LI, C.; CHEN, H. Effects of soil flooding on photosynthesis and growth of *Zea mays* L. seedlings under different light intensities. **African Journal of Biotechnology**, v.11, p.7676-7685, 2012.

WU, J.; Reactive oxygen species scavenging enzymes and down-adjustment of metabolism level in mitochondria associated with desiccation-tolerance acquisition of maize embryo. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.51, p.638-645, 2009.

YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 87-93, 2009.

ZABALZA, A.; VAN DONGEN, J.T.; FROEHLICH, A.; OLIVER, S.N.; FAIX, B.; GUPTA, K.J.; SCHMÄZLIN, E.; IGAL, M.; ORCARAY, L.; ROYUELA, M.; GEIGENBERGER, P. Regulation of respiration and fermentation to control

the plant internal oxygen concentration. **Plant Physiology**, v.149, p.1087-1098, 2009.

ZEPKA, A.P.S. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidas a diferentes doses de pendimethalin. 2007. 48f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2007.