



## Crescimento da alface sob saturação temporal do solo<sup>1</sup>

**Reginaldo G. Nobre<sup>2</sup>, Pedro D. Fernandes<sup>3</sup>, Hans R. Gheyi<sup>3</sup>, Marcos E. B. Brito<sup>4</sup> & Luanna A. da Silva<sup>5</sup>**

### RESUMO

Realizou-se este trabalho com o objetivo de estudar o crescimento de cultivares de alface 'Elba' e 'Irene', submetidas a saturação temporal do solo. O início do encharcamento ocorreu aos 17 dias após o transplante das mudas (DAT) e constou de sete tempos de duração (0, 6, 12, 18, 24, 30 e 36 h de encharcamento), realizando-se as avaliações aos 22, 28 e 38 DAT, esta última por ocasião da colheita das plantas; fatorialmente combinados às duas cultivares, resultaram em 14 (7 x 2) tratamentos. O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com três repetições, sendo a parcela constituída de um vaso com quatro plantas. O aumento da duração do encharcamento reduziu o crescimento e a produção de alface, sendo a fitomassa fresca da parte aérea a variável de maior sensibilidade ao estresse anoxítico. As cultivares são sensíveis à anoxia mas tenderam a recuperar parte do crescimento com o tempo pós-estresse. A cv. Elba foi superior à 'Irene' em termos de número de folhas, diâmetro e altura de caule, fitomassa seca da parte aérea e raiz; a 'Irene' se destacou em fitomassa fresca da parte aérea.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L., deficiência de oxigênio, estresse abiótico

## Growth of lettuce under temporary saturation of soil

### ABSTRACT

This study was undertaken with the objective of studying the growth of the cultivars of lettuce 'Elba' and 'Irene', submitted to soil saturation of different duration. The beginning of waterlogging occurred 17 days after transplanting (DAT) and it consisted of 7 duration times (0, 6, 12, 18, 24, 30 and 36 hours), evaluating the effects at 22, 28 and 38 DAT, this last one at the occasion of harvest of the plants; combined with two cultivars, resulted in 14 (7 x 2) treatments. The experiment was installed in randomized blocks, with three repetitions, the experiment consisted of one recipient with four plants. The increase in waterlogging duration reduced the growth and the lettuce production. The fresh dry matter of the aerial part being the variable of higher sensitivity to the anoxic stress; the cultivars were sensitive to abiotic stress, but they tended to recover part of the growth with time following stress. The cv. Elba was superior compared to 'Irene' in terms of number of leaves, diameter and stem height, dry matter of the aerial part and root; the 'Irene' distinguished itself in fresh biomass of the aerial part.

**Key words:** *Lactuca sativa* L., oxygen deficiency, abiotic stress

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à UFCEG

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, UAEA/UFCEG. Av. Aprígio Veloso 882, CEP 58109-970, Bodocongó, Campina Grande, PB. Fone (83) 8760-8023, (84) 3337-2386. E-mail: rgomesnobre@yahoo.com.br

<sup>3</sup> UAEA/UFCEG. Fone (83) 3310-1285. E-mail: pdantas@deag.ufcg.edu.br, hans@deag.ufcg.edu.br

<sup>4</sup> Doutorando em Eng. Agrícola UAEA/UFCEG. E-mail: mebbrito@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Graduando em Eng. Agrícola, UAEA/UFCEG. Fone (83) 8891-4614. E-mail: luanna\_amado@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A deficiência de O<sub>2</sub> no solo, decorrente de encharcamento, é um dos estresses a afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Problemas de excesso de água no solo são frequentes, seja por eventos naturais, como solos adensados, chuvas intensas e inundações, ou como consequência de atividades agrícolas, como irrigações excessivas ou compactação de camadas subsuperficiais do solo devido ao uso intensivo de máquinas.

A disponibilidade de oxigênio no solo para as plantas pode variar desde teores normais (normoxia), à deficiência (hipoxia) e até à ausência total de oxigênio (anoxia), afetando grande parte das culturas que exigem condições equilibradas de umidade e aeração do solo para o seu desenvolvimento (Sá, 2005).

Durante a saturação do solo, há um rápido desaparecimento do oxigênio e forte limitação à difusão de gases (Liao & Lin, 2001); posteriormente, pode ocorrer compactação do solo em razão da quebra e do rearranjo de partículas agregadas, além de serem modificados os processos físico-químicos, levando a um acúmulo de gases, como CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, alterações do pH e decréscimo no potencial redox (Engelaar et al., 1993).

Quando o sistema radicular passa por hipoxia ou anoxia o seu metabolismo celular é alterado, reduzindo-se de imediato a respiração e a absorção de minerais pelas raízes, tanto em plantas tolerantes como nas intolerantes (Liao & Lin, 2001; Souza & Sodek, 2002). Dependendo da espécie, da velocidade de encharcamento do solo, da altura da lâmina d'água e do tempo de submersão, as estruturas adaptativas das plantas podem ser mais evidentes, favorecendo a sua sobrevivência em ambientes sujeitos a inundações súbitas (Jackson & Armstrong, 1999).

Conforme Larcher (2000), sementes de muitas espécies germinam, as plântulas emitem raízes e crescem em solos com deficiência de oxigênio, por desenvolverem certas adaptações que lhes conferem a habilidade de superar um ambiente anóxico, em que uma das estratégias é a troca da respiração aeróbica pela anaeróbica.

Geralmente, por serem cultivadas em áreas de baixadas, as olerícolas são mais sujeitas a situações de acumulação em excesso de água no solo; os prejuízos são maiores, considerando-se a maior expressão econômica desses cultivos em relação a outras espécies. No Brasil, em 2002 o valor de produção das hortaliças atingiu cerca de 2,5 bilhões de dólares, com um volume de 15 milhões de toneladas de alimento, em área de pouco mais de 807 mil hectares (EMBRAPA, 2004).

Dentre as hortaliças, a alface (*Lactuca sativa* L.) se destaca como a folhosa mais importante na alimentação dos brasileiros, devido aos seus valores nutricionais (vitaminas e sais minerais) assegurando, com isto, expressiva significância econômica e social (Yuri et al., 2004; Resende et al., 2003). No Brasil, são aproximadamente 30 mil hectares cultivados com alface, proporcionando uma produção anual de, aproximadamente, dois milhões de toneladas; a atividade é responsável pela geração de 60 mil empregos diretos, constituindo um agronegócio importante do ponto de vista econômico e social (Grangeiro et al., 2006).

Pelas peculiaridades do clima na região Nordeste, cultiva-se alface durante todo o ano, geralmente em solos de várzeas, com irrigações diárias; nessas áreas é comum se localizar o lençol freático a pequena profundidade, potencializando o encharcamento do solo por tempo variado no período de chuvas. Apesar desses fatos e da importância econômica e social da cultura da alface para a agricultura familiar de muitos Estados do Nordeste, não se encontrou, na literatura, nenhum trabalho reportando dados de pesquisa sobre hipoxia ou anoxia, em cultivos dessa espécie na região. O único trabalho encontrado foi realizado em Piracicaba, SP (Flecha, 2004), em que, além de distintas as condições ambientais, foi também diferente a cultivar utilizada (grupo de alface manteiga) mais apropriada para aquela região.

Considerando a carência de resultados de pesquisas relacionadas à deficiência de oxigênio no cultivo de alface, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de se avaliar o crescimento e a produção das cultivares de alface 'Elba' e 'Irene', submetidas à saturação hídrica do solo, em condições de Campina Grande, PB.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em recipientes instalados a céu aberto, pertencentes à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, vinculada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da UFCG, Campina Grande, PB, durante o período compreendido entre julho e agosto de 2007.

Estudou-se o efeito da duração de encharcamento do solo (DE<sub>0</sub>- 0; DE<sub>6</sub>- 6; DE<sub>12</sub>- 12; DE<sub>18</sub>- 18; DE<sub>24</sub>- 24; DE<sub>30</sub>- 30 e DE<sub>36</sub>- 36 horas) em duas cultivares de alface (Elba e Irene), formando um arranjo fatorial 7 x 2, com delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições; a unidade experimental constou de um recipiente contendo quatro plantas, das quais uma foi colhida na primeira e outra na segunda amostragem, sendo as duas últimas coletadas ao final do ciclo.

Utilizaram-se dos genótipos de alface 'Elba' (grupo "crespa") e 'Irene' (Grupo "americana"), cujas características se encontram em IAC (2005). As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, preenchidas com um substrato comercial constituído de proporções iguais de uma mistura de vermiculita, casca de pinus e casca de arroz carbonizada; antes de ser colocado nas bandejas, o substrato foi lavado de forma a se reduzir a condutividade elétrica da água de drenagem (inicialmente 5,5 dS m<sup>-1</sup>) a valores inferiores a 1,0 dS m<sup>-1</sup>, sendo o semeio realizado dia 2 de julho de 2007.

O transplantio foi feito aos 21 dias após a semeadura, data em que as plantas estavam com 5 folhas definitivas, em média; transplantaram-se quatro plantas por vaso de plástico de aproximadamente 40 L de capacidade (altura de 50 cm, diâmetro da base inferior de 30 cm e abertura superior de 33 cm); cada vaso tinha uma mangueira transparente de 4 mm de diâmetro conectada à sua base, para drenagem; quando presa à face externa do vaso, servia para acompanhar a profundidade do lençol freático em seu interior; a extremidade da

mangueira que ficava dentro do vaso foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução pelo material de solo.

Os recipientes foram preenchidos da base para cima com uma camada de 4 kg de brita + 52 kg de material de solo (devidamente destorroado), incorporando-se adubos (adubação de fundação) até a profundidade de 30 cm. Deixaram-se 5 cm livres na abertura do vaso, para facilitar a irrigação.

O material de solo usado para o enchimento dos vasos foi do tipo “franco-argilo-arenoso”, proveniente de uma área próxima à UFCG, cujas características determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG, estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado no experimento

Características avaliadas	Valor
Classificação textural	Franco-argilo-arenoso
Densidade aparente - kg dm <sup>-3</sup>	1,36
Porosidade - %	49,25
Capacidade de campo - g kg <sup>-1</sup>	64,3
Ponto de murchamento - g kg <sup>-1</sup>	18,2
Água disponível - g kg <sup>-1</sup>	46,1
Complexo sortivo- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	0,76
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	1,71
Sódio (Na <sup>+</sup> )	0,02
Potássio (K <sup>+</sup> )	0,05
Hidrogênio (H <sup>+</sup> )	1,41
Alumínio (Al <sup>+3</sup> )	1,20
Soma de bases (S)	2,54
Carbono orgânico (C-org.) - g kg <sup>-1</sup>	0,70
Matéria orgânica (M.O.) - g kg <sup>-1</sup>	1,20
Nitrogênio (N-org.) - g kg <sup>-1</sup>	0,10
Fósforo assimilável (P) - g kg <sup>-1</sup>	0,20
pH em água (1:2,5)	5,80
CEsusp.(1:2,5) - dS m <sup>-1</sup>	0,80

Realizou-se adubação construtiva de fertilidade do solo (fundação) com fósforo e potássio, baseada em metodologia contida em Viana et al. (2004), constando de 22,79 g de superfosfato simples e 0,72 g de cloreto de potássio, misturados aos 41 kg de material de solo da camada superior; colocaram-se, ainda, na mesma camada superior de cada vaso, 2,05 kg de húmus de minhoca; além da adubação de fundação, as plantas receberam adubação de cobertura com N e K a partir de solução de uréia e nitrato de potássio, conforme Viana et al. (2004), onde foram feitas seis aplicações de uréia (2,8 g L<sup>-1</sup>) e dez com nitrato de potássio (1,6 g L<sup>-1</sup>) na dose de 50 e 100 mL, respectivamente, por vaso. As aplicações em cobertura se iniciaram 11 dias após o transplantio (DAT).

As irrigações foram feitas com água do sistema local de abastecimento, duas vezes ao dia, no início da manhã e ao final da tarde, com um volume que garantisse uma drenagem de aproximadamente 10%; diariamente a água drenada era recolhida em um recipiente (garrafa), ao qual

a mangueira ficava acoplada para avaliação do respectivo volume; com base no volume drenado no dia anterior, em cada recipiente, determinava-se a quantidade a ser aplicada na irrigação seguinte.

Os tratamentos de encharcamento foram aplicados aos 17 DAT (09/08/2007), em virtude de ser esse o período mais crítico ao desenvolvimento da cultura sob inundação, identificado por Flecha (2004). O encharcamento foi realizado colocando-se água com becker graduado, de forma que entre 14 e 16 h se aplicou um volume médio de aproximadamente 5,0 L por vaso; às 16 h, todos os vasos estavam encharcados, ou seja, com o nível de água na altura da superfície do solo.

A hora considerada para o início do encharcamento foi às 16 h e, a partir daí, a cada 6 h era liberada a mangueira de drenagem do respectivo tratamento. A altura do lençol freático no interior do vaso era acompanhada através da mangueira externa, utilizada para controle do nível de água e para drenagem.

Durante o experimento foram realizadas três avaliações (aos 22, 28 e 38 DAT) quando então se determinaram variáveis de crescimento: número de folhas (NF), altura do caule (AC) e diâmetro de caule (DC), área foliar (AF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e de raiz (FSR), e a fitomassa fresca da parte aérea (FFPA); aos 22 e 28 DAT se coletou uma planta por parcela e, aos 38 DAT, coletaram-se duas plantas.

Na contagem de NF consideraram-se apenas as que estivessem expandidas, com comprimento mínimo de 5 cm, cor verde típica da cultivar, desprezando-se as folhas secas rente ao solo (Viana et al., 2004) e aquelas cujo limbo foliar estava danificado em mais de 50%, por injúrias diversas; a AC foi definida após a retirada das folhas mensurando-se a distância entre o colo da planta e a inserção da bainha da primeira folha (mais nova), com leituras em mm; o DC foi medido na região do colo da planta, após a retirada de todas as folhas, utilizando-se de paquímetro analógico, com as leituras em mm; FSPA e FSR foram obtidas após secagem em estufa (ventilação forçada de ar) a 65 °C, até peso constante; na colheita, a haste de cada planta foi cortada rente ao solo, com auxílio de um estilete, colocando-se a planta, imediatamente, em saco plástico, fechando-se a abertura e conduzindo-a, em seguida, para pesagem da FFPA (folhas e caule); estimou-se, ainda, a área foliar, a partir de amostras de discos retirados de várias partes da folha, com ajuda de um vazador de área conhecida (0,20 cm<sup>2</sup>); os discos e as demais partes das folhas foram colocados separadamente em sacos de papel e postos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante; posteriormente, usou-se a equação: [AF = (fitomassa seca das folhas x área do disco x número de discos) / (fitomassa seca dos discos)].

Avaliaram-se os dados obtidos mediante análise de variância pelo teste ‘F’; nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial e/ou segmentada (modelo platô) para o fator “duração do encharcamento (DE)”, e o teste de comparação de médias (Tukey a nível de  $p < 0,05$ ) para o fator “cultivar (C)” (Ferreira, 2000). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (Lavras, MG).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Número de folhas (NF)

Constatou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da duração do encharcamento (DE) sobre o número de folhas, apenas na última época de avaliação, coincidindo com o período de colheita. Como a interação C x DE não foi significativa, tal efeito foi comum às duas cultivares (Tabela 2). Nas duas primeiras avaliações foi muito pequena a variação de NF entre tratamentos, mas no período entre 28 e 38 DAT, surgiram os efeitos do estresse da falta de oxigênio, reduzindo a emissão foliar (Figura 1A); vale ressaltar que, neste experimento, o menor número de folhas, aos 38 DAT, não resultou de abscisão ou de secamento foliar, como se refere Baruch (1994), como um dos sintomas que surgem em plantas sob condições de deficiência de oxigênio do solo, iniciando-se com epinastia foliar. Analisando-se os dados obtidos nas três avaliações, constatam-se que aos 22 e 28 DAT as reduções em NF, entre o tratamento testemunha (DE<sub>0</sub>) e o de maior estresse (DE<sub>36</sub>), foram 8,33 e 8,74%, respectivamente, aumentando para 13,71% por ocasião da colheita (38 DAT).

De acordo com as análises de regressão, o modelo ao qual melhor se ajustaram os dados, aos 38 DAT, foi o de regressão segmentada, também denominado 'modelo platô' (Figura 1A). Por esse modelo a deficiência de O<sub>2</sub> começou a afetar NF, a partir de 7,87 h de duração do encharcamento, com decréscimo de 0,097 folhas por cada hora de encharcamento (incremento unitário em DE). Segundo Reid & Bradford (1984), em plantas em condições de estresse anoxótico ocorre diminuição da síntese e da translocação de fitorreguladores de crescimento, como giberelinas e citocininas, do sistema radicular para a parte aérea, alterando os mecanismos naturais de emissão e de manutenção de folhas.

Verifica-se, através do teste de comparação de médias (Tabela 2), que a cultivar Elba formou um número de fo-

lhas significativamente maior que a 'Irene' apenas no final do ciclo (38 DAT), o que pode ser uma característica da cultivar.

## Diâmetro (DC) e altura (AC) do caule

O diâmetro do caule foi afetado, significativamente ( $p < 0,01$ ), pelo encharcamento, nas três avaliações (Tabela 2). Conforme os estudos de regressão para DC, o efeito aos 22 DAT foi quadrático, havendo decréscimo entre DE<sub>0</sub> e DE<sub>36</sub> de 9,73%; aos 28 e 38 DAT os dados se ajustaram melhor ao modelo linear, havendo redução de DC, por aumento unitário da duração do encharcamento, de 0,64 e 0,39%, respectivamente (Figura 1B). Flecha (2004), estudando o efeito de três períodos de encharcamento (12, 22 e 32 DAT) e velocidades de rebaixamento do lençol freático (30 cm em 24, 48, 72 e 96 h) também verificou redução do 'DC' das plantas submetidas a encharcamento, sendo a época inicial (12 DAT), combinada com a velocidade de rebaixamento (30 cm em 96 horas), a mais crítica.

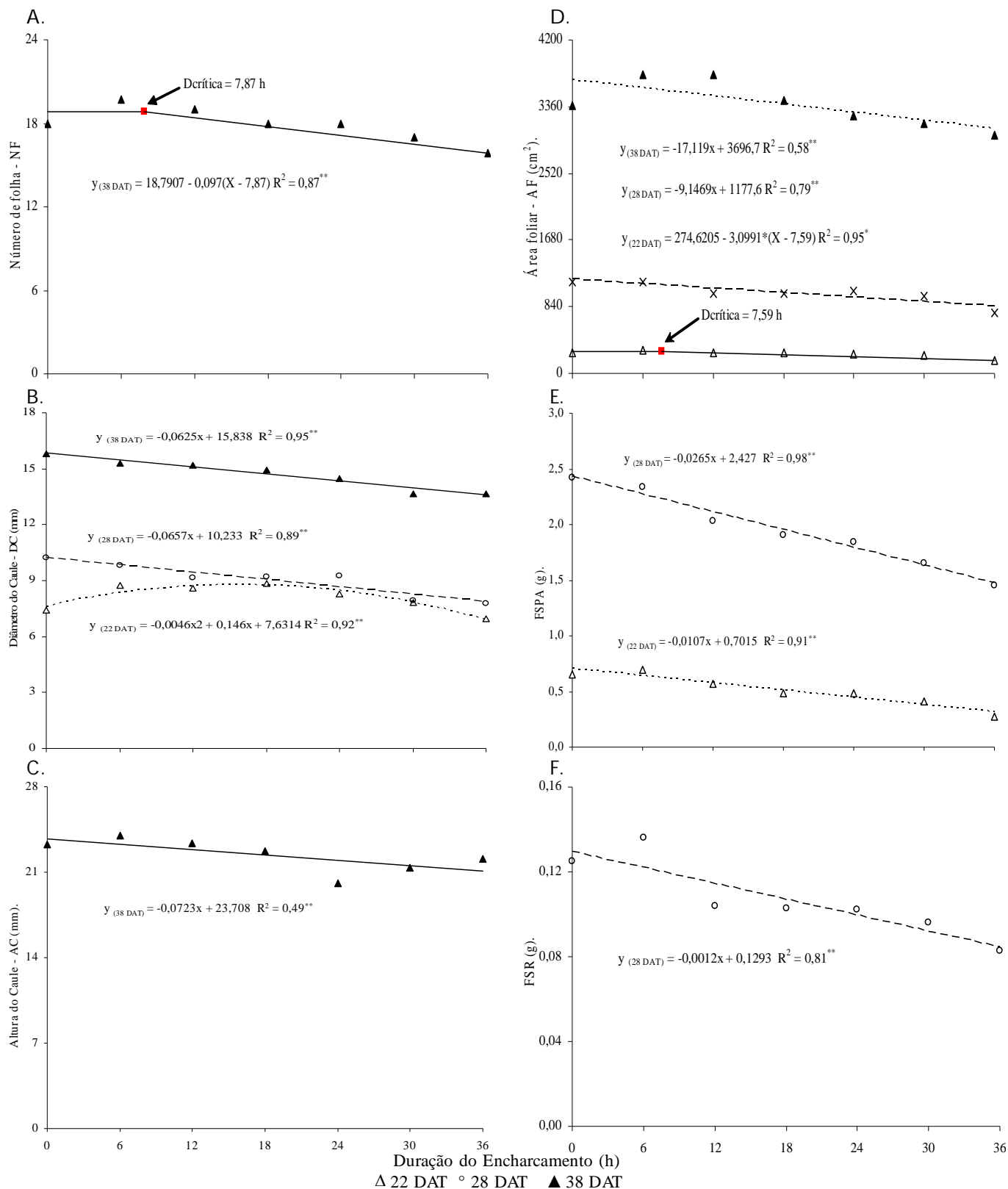
Entre as cultivares (Tabela 2), não se notou diferença significativa no diâmetro do caule, nas duas avaliações iniciais; no entanto, através do teste de média na última data (38 DAT) tem-se, na Elba, aumento significativo no diâmetro caulinar em relação à 'Irene'. Não houve interação significativa entre os fatores (DE e C), o que é um indicativo de o estresse anoxótico sobre DC não depender da cultivar.

Tem-se, na Tabela 2, o resumo da análise de variância referente à altura do caule, constatando-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da DE, somente na avaliação final (38 DAT). Nota-se, a partir da equação de regressão (Figura 1C), que, embora se tenha detectado efeito significativo para o modelo linear, não se deve considerar este resultado devido ao baixo valor do coeficiente de determinação; portanto, a altura do caule não foi afetada significativamente pelo encharcamento, em todas as avaliações, resultado este diferente do encontrado por Flecha (2004)

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância e médias das cultivares para número de folha (NF), diâmetro (DC) e altura (AC) do caule aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT)

Causa de Variância	Quadrado Médio								
	NF			DC			AC		
	22	28	38	22	28	38	22	28	38
Cultivar (C)	1,524ns	2,381ns	52,595**	2,987ns	0,572ns	10,400**	0,005ns	9,957ns	978,269**
Duração de encharc. (DE)	0,651ns	1,302ns	9,437**	3,019**	4,927**	4,135**	0,016ns	6,013ns	10,680**
Reg. Pol. Linear	-	-	35,292**	2,625ns	26,164**	23,588**	-	-	31,590**
Reg. Pol. Quadr.	-	-	13,667**	14,000**	0,244ns	0,162ns	-	-	2,000ns
Desvio Regressão	-	-	1,915ns	0,372ns	0,789ns	0,265ns	-	-	7,622*
Interação (C x DE)	1,079ns	0,270ns	0,484ns	0,441ns	0,685ns	0,333ns	0,010ns	2,453ns	5,111ns
Resíduo	0,526	0,897	0,830	3,088	1,256	0,758	0,019	2,889	2,594
CV (%)	11,53	9,61	4,60	11,91	12,38	5,92	22,25	17,69	7,19
	Médias (mm)								
Duração de encharc./Cultivar	Figura 1A			Figura 1B			Figura 1C		
Elba	6,09	10,10	19,05 a	7,82	8,93	15,21 a	6,260	10,095	27,233 a
Irene	6,47	9,62	16,81 b	8,36	9,17	14,21 b	6,050	9,121	17,581 b

(\*\*) significativo a  $p < 0,01$ , (\*) a  $p < 0,05$  de probabilidade e (ns) não significativo a  $p < 0,05$  de probabilidade; Médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ( $p < 0,05$ )



**Figura 1.** Número de folhas - NF (A), diâmetro de caule - DC (B), altura de caule - AC (C), Área foliar - AF (D), fitomassa seca da parte aérea - FSPA (E) e de raiz - FSR (F) de plantas da alfaca aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT) em função da duração do encharcamento

que constatou haver decréscimos significativos na altura de plantas de alfaca, quando expostas ao encharcamento do solo, sendo os decréscimos, em relação à testemunha, superiores aos 12 DAT.

Observa-se, pelo teste de comparação de médias (Tabela 2), diferença significativa da altura caulinar entre as cultivares apenas aos 38 DAT, em que a Elba foi maior que a Irene, com tendência, também, de maior crescimento nas demais

datas; a diferença entre as duas cultivares em AC, aos 38 DAT, foi bem mais expressiva que em relação às variáveis NF e DC; isto pode ter ocorrido devido à cv. Irene formar cabeça.

A ausência de interação significativa, também para AC, denota que o efeito de 'DE' sobre 'C' ocorre de modo semelhante (Tabela 2).

Reid & Bradford (1984) citam que o menor crescimento das plantas submetidas a alagamento está relacionado a alterações no metabolismo e transporte de hormônios, reduzindo-se os hormônios promotores de crescimento, enquanto aumentam os hormônios inibidores de crescimento. Nas cultivares Elba e Irene, nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, não foi constatado efeito de DE sobre a altura do caule de suas plantas.

### Área foliar (AF)

A área foliar por planta foi afetada, linearmente ( $p < 0,01$ ), quando as plantas foram submetidas a encharcamento, nas duas últimas avaliações (Tabela 3); na primeira avaliação, o efeito foi quadrático ( $p < 0,05$ ) e, conforme modelo de regressão segmentada (Figura 1D), o estresse anoxótico começou a afetar a AF, a partir de 7,59 h de encharcamento, promovendo decréscimo de 3,10 cm<sup>2</sup> na área foliar por aumento unitário (hora) de 'DE'. Conforme modelos matemáticos observados na Figura 1D, os decréscimos da área foliar das plantas submetidas ao estresse durante 36 h (DE<sub>36</sub>) em relação às testemunhas, foram de 27,96% (28 DAT) e 16,67% (38 DAT), ou seja, 9,15 e 17,12 cm<sup>2</sup>, respectivamente, por cada hora de encharcamento.

Sá (2005) encontrou, também, redução significativa (20%) da área foliar de trigo, submetido ao encharcamento do solo em relação ao tratamento controle; conforme o autor, foram ainda, observados reduções da área foliar de 15 e 30%, em experimentos realizados com soja e lentilha, respectivamente, quando da exposição das plantas ao encharcamento. Trabalhando com algodão herbáceo por até oito dias de saturação hídrica do solo, Beltrão et al. (1997) verificaram sensível redução da área foliar das plantas, assim como neste trabalho.

Neste trabalho, as cultivares sob estresse conseguiram se recuperar, em parte, no período pós-estresse, denotando certa tolerância.

Nas épocas em que se avaliou esta variável (22, 28 e 38 DAT), a AF da cultivar Elba foi significativamente ( $p < 0,05$  aos 22 DAT e  $p < 0,01$  em 28 e 38 DAT) maior que a da Irene, com acréscimos de 20,10, 22,46 e 52,75%, respectivamente; a diferença foi aumentando ao longo do tempo, o que denota ter a 'Elba' maior crescimento de AF que a 'Irene' (Tabela 3 e Figura 1D).

A interação entre os fatores 'C x DE', assim como nas variáveis já estudadas, não foi significativa, mostrando que o efeito de 'DE' independe das cultivares utilizadas na pesquisa (Tabela 3).

### Fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e de raiz (FSR)

Conforme resumo da análise de variância para a FSPA e FSR (Tabela 3), verifica-se não ter havido efeito significativo do fator DE sobre estas variáveis na avaliação realizada por ocasião da colheita (38 DAT).

Na FSPA das plantas ocorreram decréscimos, por aumento unitário do tempo (h) de encharcamento, de 1,53 e 1,09% aos 22 e 28 DAT, respectivamente; verifica-se que no momento da colheita as plantas se tinham recuperado, a não se registrando mais diferença significativa em função da DE. Mingoti et al. (2006), em experimento com alface submetida a períodos de inundação e velocidades de rebaixamento do lençol freático, também constataram que o período mais crítico, em relação à produção de massa seca da parte aérea, foi o inicial, onde verificaram redução superior a 35% de FSPA das plantas estressadas, em comparação com a testemunha.

Pelos dados médios de FSPA (Tabela 3), constata-se que a cv. Elba foi significativamente superior à Irene, aos 38 DAT, portanto, só no final do ciclo, visto que nas demais datas não houve diferença estatística.

Analisando-se os dados obtidos na amostragem final, referentes às fitomassas secas das cultivares de alface, verifica-se que esta hortaliça, após passar por estresse anoxótico,

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância e médias das cultivares para área foliar (AF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e de raiz (FSR) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT)

Causa de Variância	Quadrado Médio								
	AF			FSPA			FSR		
	22	28	38	22	28	38	22	28	38
Cultivar (C)	20507,48**	439146,29**	21003884,62**	0,001 ns	0,163 ns	20,750**	0,000 ns	0,001 ns	11,9908**
Dur. enchar. (DE)	10056,79**	106842,03**	511029,67*	0,127**	0,727**	2,125 ns	0,000 ns	0,002*	0,431 ns
Reg. Pol. Linear	40766,04**	506014,25**	1772329,17**	0,694**	4,258**	-	-	0,009**	-
Reg. Pol. Quadr.	16347,97*	25240,05 ns	558863,43 ns	0,014 ns	0,000 ns	-	-	0,000 ns	-
Desvio Regressão	806,689 ns	27449,48 ns	183746,35 ns	0,013 ns	0,025 ns	-	-	0,001 ns	-
Interação(C x DE)	2491,71 ns	9235,41 ns	131992,96 ns	0,003 ns	0,094 ns	0,446 ns	0,000 ns	0,001 ns	0,074 ns
Resíduo	2692,03	20402,71	151281,11	0,013	0,065	0,935	0,000	0,001	0,462
CV (%)	21,44	14,10	11,48	22,15	13,05	14,20	26,46	22,83	38,67
	(cm <sup>2</sup> )			Médias (g)			(g)		
Duração de encharc./Cultivar	Figura 1D			Figura 1E			Figura 1F		
Elba	264,05 a	1115,20 a	4095,70 a	0,504	1,887	7,513 a	0,037	0,111	2,293 a
Irene	219,86 b	910,69 b	2681,36 b	0,513	2,011	6,107 b	0,032	0,103	1,224 b

(\*\*) significativo a  $p < 0,01$ , (\*) a  $p < 0,05$  de probabilidade e (ns) não significativo a  $p < 0,05$  de probabilidade; Médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ( $p < 0,05$ )

reduz momentaneamente a produção de massa vegetal da parte aérea e do sistema radicular; no entanto, após o período de deficiência de oxigênio as plantas retomam seu crescimento, de forma a não se verificar diferença estatística significativa entre as mesmas no momento da colheita; esses resultados fortalecem a discussão sobre o aumento da tolerância das cultivares com o passar do tempo de ocorrência do estresse anoxítico. Diferentemente, Sá (2005) observou, durante estudo referente ao encharcamento do solo sobre a cultura da lentilha que, com o aumento do tempo após exposição ao estresse, a matéria seca total das plantas foi sendo reduzida. Essa diferença de comportamento das culturas em relação ao estresse anoxítico, pode estar relacionada à espécie, à cultivar, ao estágio de desenvolvimento da cultura, ao tipo de solo, à temperatura ambiente, ao tempo de exposição e à inundação, entre outros aspectos (Pang et al., 2004).

Constata-se, através do teste de comparação de médias, que a cultivar Elba teve a fitomassa seca de raiz significativamente ( $p < 0,01$ ) maior que a Irene, na última avaliação; nas demais épocas de estudo não se notaram diferença significativa; a FSR da cv. Elba foi superior em 87,3% à da cultivar Irene (Tabela 3).

Não se constatou efeito interativo dos fatores 'DE' e 'C' para FSPA e FSR, denotando-se que os efeitos ocasionados por 'DE' independem das cultivares.

De acordo com as equações de regressão referentes à FSR, verifica-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) de 'DE', em relação às cultivares, apenas na avaliação aos 28 DAT, na qual o modelo a que melhor os dados se ajustaram foi o linear (Figura 1F) havendo decréscimo, por aumento unitário do tempo de exposição das plantas ao encharcamento, de 0,93%.

Pires et al. (2002), estudando as adaptações morfológicas da soja em solo inundado, constataram que os principais efeitos da inundação ocorrem nas raízes, com alterações anatômicas e morfológicas, formas de se adaptarem ao ambiente, como: morte da raiz principal, crescimento de raízes laterais, surgimento de raízes adventícias, etc. Neste trabalho com alface não se verificaram, visualmente, modificações adaptativas do sistema radicular ao estresse; aos 38 DAT (Tabela 3), as cultivares submetidas a estresse não diferiram estatisticamente em relação ao peso das raízes das plantas testemunha, o que mostra certa recuperação delas com o passar do tempo.

#### Fitomassa fresca da parte aérea (FFPA)

O fator duração do encharcamento 'DE' afetou a fitomassa fresca da parte aérea, ( $p < 0,01$ ) com reduções lineares nas três épocas de avaliação, aos 22, 28 e 38 DAT (Tabela 4). Conforme análise de regressão, o encharcamento do solo provocou decréscimos de 1,31, 1,15 e 0,64% aos 22, 28 e 38 DAT, respectivamente, por aumento unitário (hora) da duração do encharcamento (Figura 2); no momento da colheita (38 DAT) houve um decréscimo de 23,09% na massa fresca das plantas que estavam submetidas a 36 horas de encharcamento, o que, do ponto de vista econômico, é um valor bastante elevado em virtude desta hortaliça ser comercializada com base no peso fresco.

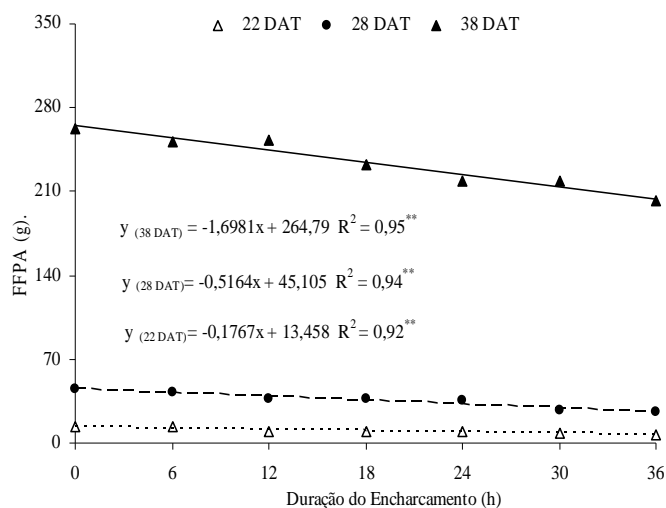
**Tabela 4.** Resumo da ANAVA e médias das cultivares para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT)

Causa de Variância	Quadrado Médio		
	FFPA		
	22	28	38
Cultivar (C)	0,482 ns	292,301**	363304,037**
Dur. Enchar. (DE)	34,404**	286,250**	3053,229**
Reg. Pol. Linear	188,807**	1612,930**	17439,421**
Reg. Pol. Quadr.	0,194 ns	6,989 ns	35,689 ns
Desvio Regressão	4,355 ns	24,395 ns	211,066 ns
Interação(C x DE)	1,457 ns	34,089 ns	705,450 ns
Resíduo	4,475	26,827	527,493
CV (%)	20,58	14,46	9,81
	Médias (g)		
Duração de encharc./Cultivar	Figura 2		
Elba	10,171	33,171 b	141,222 b
Irene	10,386	38,448 a	327,234 a

(\*\*) significativo a  $p < 0,01$ , (\*) a  $p < 0,05$  de probabilidade e (ns) não significativo a  $p < 0,05$  de probabilidade; médias seguidas de letra diferente na vertical diferem entre si ( $p < 0,05$ )

Com base nos decréscimos citados para FFPA e FSPA, verifica-se que a tolerância da alface cv. Elba e Irene, frente ao aumento do período de sua exposição ao encharcamento, foi crescente com o tempo. Flecha (2004) avaliando a cultivar Verônica sob deficiência de  $O_2$  do solo, observou que os encharcamentos realizados no período inicial (12 DAT), proporcionaram os maiores decréscimos da fitomassa; verificou, também, que em encharcamentos realizados aos 22 e 32 DAT, as plantas foram mais tolerantes ao estresse; no entanto, os resultados de fitomassa das plantas sob encharcamento foram inferiores aos da testemunha.

O efeito da anoxia sobre as culturas é variável durante seu ciclo vegetativo; neste experimento, nota-se que isto ocorreu, pois com o passar do tempo, as cultivares continuaram seu crescimento e reduziram a diferença em relação à quantidade de massa fresca, em comparação à testemunha. Apesar das plantas denotarem certa tolerância, pós anoxia, observa-se,



**Figura 2.** Fitomassa fresca da parte aérea – FFPA de plantas da alface aos 22, 28 e 38 dias após o transplântio (DAT) em função da duração do encharcamento

pelos resultados aos 38 DAT, redução de 61,13 g da massa fresca em plantas submetidas a DE<sub>36</sub> em relação a DE<sub>0</sub>.

Conforme médias contidas na Tabela 4, para FFPA aos 38 DAT, as plantas com aumento do tempo de exposição ao encharcamento foram reduzindo a produção; analisando-se os dados de FFPA deste experimento e com base na classificação da alface sugerida pela CEAGESP (2001), as plantas submetidas à duração de encharcamento de até 12 h estão inseridas na Classe 25 (250 a 300 g), enquanto as submetidas aos demais tratamentos se inserem na Classe 20 (200 a 250 g); quanto maior a Classe, melhor o preço de mercado.

Viana et al. (2004), conduzindo experimento com alface (cv. Elba), submetida a estresse salino, constatou decréscimo linear na FFPA quando da exposição das plantas a níveis de salinidade variando de 0,3 a 3,8 dS m<sup>-1</sup>, registrando redução de 9,25% na FFPA aos 30 DAT, para as plantas irrigadas com água de 1,7 dS m<sup>-1</sup>, condutividade esta considerada alta para a sobrevivência da maioria das plantas. Os dados apresentados por Viana et al. (2004) são indicativos que, sob estresse salino, as plantas também tiveram tolerância crescente com o passar do tempo. Comparando-se esses resultados com os do presente trabalho, em que houve redução de 11,54 e 23,09% na FFPA das plantas submetidas a estresse anoxítico (exposição por 18 e 36 h), respectivamente, constata-se que as plantas foram bem mais sensíveis ao estresse por deficiência de O<sub>2</sub> do solo que ao salino.

Diferente dos resultados apresentados para as outras variáveis, a cv. Irene produziu significativamente mais FFPA que a Elba, nas duas últimas épocas de avaliação (Tabela 4); na primeira data não houve efeito significativo; no entanto, as médias de Irene foram superiores, o que mostra que esta cultivar possui maior teor de umidade nas folhas, fato este bastante importante já que a alface é comercializada com base no peso fresco. Conforme IAC (2005), as cultivares do grupo americana, dentre as quais se tem a Irene, possuem folhas grossas e nervuras protuberantes, favorecendo a maior fitomassa, o que pode, a priori, justificar a superioridade da mesma em relação à Elba. Analisando-se as cultivares em relação às variáveis estudadas no momento da colheita, constata-se ocorrer a maior diferença entre as mesmas para a variável FFPA.

Verifica-se, na Figura 2, o grande incremento da fitomassa fresca das cultivares nos dez últimos dias que antecederam a colheita; esta informação é bastante significativo quando dos cuidados com relação ao manejo da cultura neste período.

Analisando-se os dados referentes a FFPA e FSPA, denota-se que, no ato da colheita, a parte aérea da Elba contém menor teor de umidade e maior massa seca nas folhas que a da cultivar Irene.

## CONCLUSÕES

1. A cultivar Elba foi superior à 'Irene' em todas as variáveis de crescimento, independente da duração e das condições de encharcamento do solo, com exceção da fitomassa fresca da parte aérea.

2. A fitomassa fresca da parte aérea é a variável mais indicada para se avaliar o efeito do estresse anoxítico em alface.

3. O aumento do tempo de exposição das plantas à condição de anoxia ocasiona decréscimo da área foliar, recuperando-se as plantas com o passar do tempo pós-estresse.

4. O excesso de umidade no solo por uma duração superior a seis horas provoca, em plantas de alface, redução de número de folhas, altura de caule, fitomassa fresca e seca da parte aérea e fitomassa seca de raiz.

5. Os efeitos das durações de encharcamento independem das cultivares.

## LITERATURA CITADA

- Baruch, Z. Responses to drought and flooding in tropical forages grasses. II. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. *Plant and Soil*, v.164, p.87-96, 1994.
- Beltrão, N. E. de M.; Azevêdo, D. M. P. de; Nóbrega, L. B.; Santos, J. W. do. Modificações no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo sob saturação hídrica do substrato em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, n.7, p.701-708, 1997.
- CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Programa paulista para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. Classificação de alface. Programa de adesão voluntária, São Paulo, 2001.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Fertilização de hortaliças. Brasília: Embrapa hortaliças, 2004. 13p. Circular Técnica, 32
- Engelaar, W. M. H.; van Brugen, M. W.; van der Hoek, W. P. M.; Huyser, M. A. H.; Blom, C. W. P. M. Roots porosities and radial oxygen losses of *Rumex* and *Plantago* species as influenced by soil pore diameter and soil aeration. *New Phytologist*, v.125, p.565-574, 1993.
- Ferreira, P. V. Estatística experimental aplicada á agronomia. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.
- Flecha, P. A. N. Sensibilidade das culturas da batata (*Solanum tuberosum* L.) e da alface (*Lactuca sativa* L.) ao excesso de água no solo. Piracicaba: ESALQ, 2004. 68p. Dissertação Mestrado
- Grangeiro, L. C.; Costa, K. R.; Medeiros, M. A.; Salviano, A. M.; Negreiros, M. Z.; Bezerra Neto, F.; Oliveira, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface em condições de semi-árido. *Horticultura Brasileira*, v.24, n.2, p.190-194, 2006.
- IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Boletim 200. Campinas: IAC, 2005. 396p.
- Jackson, M. B.; Armstrong, W., Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biology*, v.1, p.274-287, 1999.
- Larcher, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.



- Liao, C. T.; Lin, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proceedings of the National Science Council*, v.25, p.148-157, 2001.
- Mingoti, R.; Flecha, P. A. N.; Duarte, S. N.; Cruciani, D. E. Efeito da velocidade de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.10-16, 2006.
- Pang, J.; Zhou, M.; Mendham, N.; Shabala, B. S. Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.55, n.8, p.895-906, 2004.
- Pires, J. L. F.; Soprano, E.; Cassol, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.1, p.41-50, 2002.
- Reid, D. M.; Bradford, K. J. Effects of flooding on hormone relations. In: Kozlowski, T. T. (ed.) *Flooding and plant growth*, London: Academic Press, 1984, p.195-219.
- Resende, G. M.; Yuri, J. E.; Mota, J. H.; Souza, R. J. de.; Freitas, S. A. C.; Rodrigues Junior, J. C. Efeitos de tipos de bandejas e idade de transplântio de mudas sobre o desenvolvimento e produtividade da alface americana. *Horticultura Brasileira*, v.21, n.3, p.558-563, 2003.
- Sá, J. S. de. Influência do manejo do nível freático e doses de nitrogênio em culturas sob hipoxia no solo. Piracicaba: ESALQ, 2005. 142p. Tese Doutorado
- Sousa, C. A. F. de; Sodek, L. Respostas metabólicas de plantas à deficiência de oxigênio. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.14, p.83-94, 2002.
- Viana, S. B. A.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Soares, F. A. L.; Carneiro, P. T. Índices morfofisiológicos e de produção de alfaces sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.23-30, 2004.
- Yuri, J. E.; Resende, G. M.; Rodrigues Júnior, J. C.; Motta, J. H.; Souza, R. J. Efeito de composto orgânico sobre a produção e características comerciais de alface americana. *Horticultura Brasileira*, v.22, n.1, p.127-130, 2004.