

# ANÁLISE MULTIVARIADA NO DESEMPENHO DA ALFACE EM RESPOSTAS AS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA EM DOIS AMBIENTES DE CULTIVO

*Data de aceite: 02/05/2023*

**Márcio Aurélio Lins dos Santos,**  
Professor/Orientador do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Cinara Bernardo da Silva,**  
Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Cícero Gomes dos Santos,**  
Professor/Orientador do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Daniella Pereira dos Santos Falcao,**  
Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE;

**Julianna Catonio da Silva,**  
Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, CECA, UFAL;

**Marcilene Bezerra de Sá,**  
Engenheira Agrônoma pelo Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Maria Damiana Rodrigues Araújo,**  
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Larissa Vasconcelos Santos,**

Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Maria Deyse Silva dos Santos,**  
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL; UFAL;

**Kívia Caroline da Costa,**  
Mestranda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Aline dos Santos Curto,**  
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

**Edson Magrine de Souza Cavalcante,**  
Graduando do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL.

**RESUMO:** Objetivou-se analisar o crescimento e rendimento da alface sob o efeito da interação de lâmina e da salinidade da água em dois ambientes de cultivo. O experimento foi conduzido em campo e ambiente protegido na UFAL-Arapiraca. O delineamento experimental para ambos os ambientes foi em blocos ao acaso (DBC), com esquema fatorial 5x5, com 5 repetições, com 25 tratamentos e 125 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na interação de 5 lâminas de irrigação e 5

níveis de salinidade da água. Foram analisadas 18 das variáveis e processadas utilizando o software estatístico R. Os resultados mostraram que a análise de componente principal apresentou as lâminas com 100 e 75% da ETc sendo as melhores em ambos ambientes. A salinidade teve maior variação em campo e a lâmina no protegido. O nível de salinidade da água S4 (dois ambientes) interferiu diretamente no desempenho das 18 variáveis. A análise de componente principal teve melhor desempenho das variáveis na interação  $L_3S_3$  para o campo e  $L_1S_1$  para protegido. No campo, as interações  $L_1S_4$  e  $L_1S_5$  obtiveram menores similaridades e  $L_4S_2$  e  $L5S5$  as maiores, ocorrendo o inverso no protegido com dissimilaridade entre as  $L_2S_1$  e  $L_3S_3$  e similaridade entre as  $L_2S_1$  e  $L_2S_3$ . A análise hierárquica de Cluster mostrou que a matéria fresca das folhas e o diâmetro da copa são as variáveis de maiores importância entre as demais. Para ambos ambientes, a alface respondeu melhor as maiores lâminas e menores salinidades para variáveis biométricas seguidas das variáveis de produtividade e as menores lâminas e salinidades abaixo do limiar da cultura para o índice de clorofila.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lactuca sativa* L. Análise de componente principal. Análise de cluster.

## INTRODUÇÃO

A alface, assim como as demais culturas, necessita da quantidade de água ideal para atingir seu maior desenvolvimento, porém a água ainda é utilizada de forma exagerada causando danos na cultura. Quando se trata da importância da irrigação existe uma preocupação da crise hídrica, sendo desenvolvido vertentes de pesquisas que buscam analisar as consequências na agricultura e para a população (Putti, 2015). Assim, técnicas para a otimização da eficiência da irrigação vêm sendo pesquisadas para reduzir o seu desperdício (Levidow et al., 2014; Snyder et al., 2015).

No Nordeste a cultura da alface é produzida principalmente pelos pequenos produtores, porém esta região apresenta um regime pluvial irregular, possuindo longos períodos de seca que assolam a região, sendo necessário minimizar o uso da água na irrigação aplicando apenas o necessário para maximizar o crescimento e rendimento da cultura.

Um dos maiores desafios para a agricultura na atualidade é o de desenvolver sistemas agrícolas sustentáveis que possam produzir alimentos e fibras em quantidades e qualidades suficientes, sem afetar os recursos do solo e do ambiente (Sousa et al, 2014).

Mas, existe um fator preocupante com relação à água utilizada na irrigação nesta região, por possuir qualidade inferior, a salinidade destas águas pode afetar de maneira negativa as plantas e o solo da área utilizada para o plantio. A salinização dos solos pode conduzir a desertificação da área que antes era agricultável, causando prejuízos. É um fenômeno que cresce em todo o mundo afetando milhões de hectares de solos em todas as áreas em que as práticas agrícolas são inadequadas (Silva, 2014).

A maioria dos cientistas toma decisões com base na análise dos dados obtidos de trabalhos de pesquisa. Quase todos os dados da ciência são abundantes e, por si só, são de pouca ajuda, a menos que sejam resumidos por alguns métodos e interpretações

apropriadas tenham sido feitas. O conjunto de dados pode conter tantas observações que se destacam e cuja presença nos dados não pode ser justificada por qualquer explicação simples. A técnica estatística multivariada é uma forma de estatística que engloba observações simultâneas e análise de mais de uma variável estatística, no qual poderá ser esclarecida como os métodos estatísticos multivariados, como a análise de regressão múltipla, análise de componentes (ACP), análise de agrupamento, entre outros, no qual podem ser usados como métodos para explicar as relações entre diferentes variáveis e tomar decisões para trabalhos relacionados à agricultura e à ciência das plantas (Saed-Moucheshi et al., 2013).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância. A técnica foi inicialmente descrita por PEARSON (1901) e uma descrição de métodos computacionais práticos veio muito mais tarde com HOTELLING (1933, 1936) que usou com o propósito determinado de analisar as estruturas de correlação. A ACP é uma técnica estatística de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (Johnson; Wichern, 1998 & Hongyu et al, 2015). A principal vantagem da análise de componentes principais é reduzir o número de dimensões sem muita perda de informações (Everitt; Dunn, 1992).

O método consiste em encontrar os autovetores da matriz de covariância dos dados estudados. O autovetor com maior auto valor é a componente principal. Os dados originais são projetados na base dos autovetores, de maneira que ficam descorrelacionados. A dimensão é reduzida escolhendo-se para análise as dimensões que correspondem aos autovetores com maiores autovalores. O auto vetor com maior auto valor explica a maior porcentagem de variância da amostra (Andrade et al, 2014).

Clustering é o processo de agrupar ou fazer conjuntos de tipo semelhante ou quase semelhante de objetos físico ou abstrato. Ou seja, o processo de agrupamento de dados em classes, em que os objetos dentro do mesmo cluster têm maior grau de semelhança em comparação com o outro, mas são muitos diferentes dos objetos em diferentes clusters (Han et. al., 2000).

Os grupos assim formados são conhecidos como clusters. Várias ferramentas também foram evoluíram para avaliar, justificar, atualizar e modificar os sistemas especialistas agrícolas existentes, tornando-os mais útil para os fins pretendidos. O papel atual revê o uso da análise de cluster como uma ferramenta para melhorar gestão agrícola, prevendo e sugerindo soluções para seus problemas (Tiwari; Misra, 2011).

Objetivou-se analisar o crescimento e rendimento da alface cultivada em campo e ambiente protegido sob o efeito das interações dos fatores lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água utilizando análises multivariadas por meio de componentes principais e de agrupamento de Cluster.

## METODOLOGIA

O experimento foi realizado em campo e ambiente protegido na área experimental da Universidade Federal de Alagoas, Campus de Arapiraca, com coordenadas geodésicas 09° 45' 09" S e 36° 39' 40" W, altitude de 325 metros. O clima é classificado como do tipo 'As' tropical com estação seca de Verão, pelo critério de classificação de KÖPPEN (1948). A estação chuvosa inicia-se no mês de Abril e se estende até o início de Agosto, com precipitação pluvial média de 854,27 mm ano<sup>-1</sup>, já a estação seca vai de Setembro a Março, sendo Dezembro o mês mais seco do ano (Xavier; Dornellas, 2010).

Escolheu-se, em ambos os experimentos (campo e protegido), a alface cultivar lisa (*Lactuca sativa* L.), por ser a mais produzida na região. As mudas foram adquiridas de produtores de viveiros comerciais. O transplântio foi realizado no dia 09/05/2018, colocando-se uma planta por recipiente (ambiente protegido) e dia 10/05/2018, transplantando um total de 1875 mudas (campo), mas vale salientar que apenas as três centrais de cada parcela foram avaliadas, totalizando 375 plantas, sendo as demais bordaduras. A adubação foi baseada nas recomendações da 5ª aproximação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais indicado para a cultura da alface.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), com 5 repetições, em esquema fatorial 5x5, possuindo 25 tratamentos, totalizando 125 unidades experimentais. Os tratamentos utilizados foram: 5 lâminas de irrigação ( $L_1= 50$ ;  $L_2= 75$ ;  $L_3= 100$ ;  $L_4= 125$  e  $L_5= 150\%$  baseado na Evapotranspiração da cultura, ETc), determinada utilizando o sistema SLIMCAP (Santos, et al., 2020), este sistema faz uso de 5 lisímetros de drenagem instalados na área experimental. Já a salinidade consistiu de 5 níveis de salinidade da água sendo ( $S_1= 0,12$ ;  $S_2= 1,12$ ;  $S_3= 2,12$ ;  $S_4= 3,12$  e  $S_5= 4,12$  mS cm<sup>-1</sup>). Diariamente ocorreu a preparação da água salina, utilizando um condutivímetro portátil, para atingir o nível de sais desejado, utilizou-se a relação entre condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentração (mg L<sup>-1</sup>= 640\*CE), que foi extraída da metodologia proposta por Richards et al. (1954). Vale salientar, que foi considerada no cálculo a concentração de sais já existentes na água do poço (2,14 mS cm<sup>-1</sup>).

No experimento realizado em campo foram construídos vinte e cinco canteiros com dimensões de 5,00 x 1,00 de comprimento e largura, respectivamente, com altura de 0,25 m, espaçados a 0,30m entre canteiros. Utilizou-se o gotejamento, as fitas possuíam vazão de 1,3 L h<sup>-1</sup>. Para o projeto existente em ambiente protegido utilizou-se 125 recipientes plástico com capacidade para 4,0 litros. O sistema de irrigação foi o localizado por gotejamento, com fitas gotejadoras possuindo vazão de 2,0 L h<sup>-1</sup>.

Para o controle do tempo de irrigação com a água salina para os dois experimentos realizou-se o coeficiente de uniformidade. Após isso se obteve um controle do tempo da água aplicada, em seguida foi determinado à vazão do sistema de irrigação e por fim, o cálculo de irrigação utilizando o sistema SLIMCAP.

Foram avaliadas 18 variáveis para ambos os ambientes estudados, são elas: área foliar (AF), número de folhas (NF), altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho das raízes (TR), eficiência do uso da água na área foliar (EAF), eficiência do uso da água no número de folhas (ENF), eficiência do uso da água no diâmetro do dossel (EDC), matéria fresca das folhas (MFF), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca total (MST), teor de água nas folhas (TAF), teor de água na cultura (TAC), índice de clorofila (SPAD), clorofila a (Ca), clorofila b (Cb), clorofila a+b (Cab) e Carotenoides (Cx).

O método da pesquisa utilizado foi o quali-quantitativo, por meio de coleta e descrição de dados (Pereira et al., 2018). As análises das variáveis citadas acima foram processadas utilizando o software estatístico R, gerando análise multivariada: análise de componentes principais (ACP), análise de cluster hierárquico em dendrograma, análise da performance cluster e seus respectivos gráficos.

Para análise multivariada ACP, as variáveis foram correlacionadas com ACP1, ACP2 e ACP3, suas contribuições nas variáveis foram contabilizadas na variabilidade dos três primeiros componentes principais, em porcentagem, bem como dos seus respectivos três primeiros autovalores. Os gráficos das ACP's foram do tipo elipsóide (3D) para os três primeiros componentes principais, de representação tridimensional de dados multivariados, analisados a partir das correlações das lâminas de irrigação em cada nível de salinidade da água nas variáveis estudadas. Foi determinado o coeficiente de silhueta (Si) que mede a similaridade de uma variável as outras variáveis em seu próprio cluster do que aquela do cluster vizinho. Os valores de Si variam de 1 a -1.

Para análise multivariada hierárquica de clusters foi definida pela comparação visual de dendrogramas em que ramos distintos são marcados com diferentes cores e com avaliação da tendência de armazenamento dos dados e da decisão sobre o número do cluster examinando o em cluster e validando os resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de Componentes Principais (ACP)

As análises de componentes principais (ACP) das variáveis estudadas no desempenho agrônomo da cultura da alface mostram o comportamento de cada lâmina de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  e  $L_5$ ) em cada nível de salinidade da água ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  e  $S_5$ ) para ambos os ambientes (campo e protegido). Analisando as Figuras observaram-se três dimensões para análise de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3), essas dimensões podem ser explicadas pelos três primeiros autovalores juntos e da soma das três primeiras proporções de variâncias (em percentuais) para ambos ambientes: campo e protegido (Tabela 1).

Tabela 1: Valores dos três primeiros autovalores e das três proporções sucessivas de variações das dimensões para análise de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3) para cada nível de salinidade em ambiente de campo e protegido

Salinidade	Autovalores					
	Campo			Protegido		
	ACP1	ACP2	ACP3	ACP1	ACP2	ACP3
$S_1$	6,58	3,95	2,72	6,45	4,30	2,73
$S_2$	6,15	4,44	2,51	7,47	3,86	2,42
$S_3$	5,80	3,99	2,81	8,50	2,86	2,38
$S_4$	5,19	3,87	2,38	8,04	2,37	1,41
$S_5$	6,83	3,73	2,46	6,04	3,84	3,38
Proporções de variâncias (%)						
	ACP1	ACP2	ACP3	ACP1	ACP2	ACP3
$S_1$	36,54	21,93	15,11	38,84	23,91	15,15
$S_2$	34,17	24,68	13,97	41,49	21,46	13,47
$S_3$	32,25	22,19	15,60	47,24	15,88	13,20
$S_4$	28,83	21,48	15,32	44,66	22,72	13,17
$S_5$	37,92	20,75	13,65	33,54	21,35	18,80

A quantidade de variação retida por cada componente principal medida pelo primeiro autovalor e pela primeira proporção de variância para os valores em ambiente de campo teve desvios-padrão iguais a 0,65 e 3,59, com maior salinidade na  $S_5$  e menor na  $S_4$ . Já em ambiente protegido os valores de desvios-padrão foram de 1,04 (autovalor) e 5,31 (proporção de variância), sendo o  $S_3$  o maior e  $S_1$  o menor (Tabela 1).

As análises de componentes principais (ACP) das variáveis estudadas mostram o comportamento de cada lâmina de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  e  $L_5$ ) na salinidade da água de  $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$  para ambos os ambientes: campo e protegido. Essas dimensões podem ser explicadas pelos três primeiros autovalores juntos de 13,25 e 13,48 e para soma das três primeiras proporções de variância com os percentuais de 73,58 e 77,90% para os ambientes campo e protegido, respectivamente (Tabela 1).

Para salinidade de água  $S_1$  as 18 variáveis estudadas por meio das análises de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3) tiveram como melhor opção de irrigação a lâmina  $L_2$  seguida da  $L_1$  para ambos os ambientes (campo e protegido). A lâmina de irrigação não recomendada foi a  $L_3$  para o ambiente de campo e  $L_4$  para o protegido. Observando o comportamento das lâminas de irrigação na variabilidade das variáveis, a  $L_3$  em ambiente protegido teve uma elipsóide bastante pequena e pontos próximos, indicando maior confiabilidade em sua variabilidade entre as 18 variáveis estudadas. Já as lâminas  $L_3$  e  $L_5$  (campo) e  $L_4$  e  $L_5$  (protegido) tiveram uma elipse maior e pontos dispersos indicando assim menor intervalo de confiança (Figuras 1A e 1B).

O comportamento de cada lâmina de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  e  $L_5$ ) na salinidade de

1,12 mS cm<sup>-1</sup> para ambos os ambientes (campo e protegido). Na Tabela 1 estão os valores das PCA's das 18 variáveis nessas dimensões explicadas pela soma dos três autovalores, de 13,1 (campo) e 13,75 (protegido) e das três primeiras variâncias, de 72,82% (campo) e 76,42% (protegido).

As análises de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3) nas 18 variáveis mostram que a melhor opção da lâmina de irrigação com S<sub>2</sub> é a L<sub>2</sub> para ambiente de campo e L<sub>1</sub> para protegido. Todas as demais lâminas de irrigação não são recomendadas para nenhum dos ambientes. Já a variabilidade das variáveis estudadas na S<sub>2</sub> demonstrou menor intervalo de confiança em ambiente de campo, com grandes elipsóides, comportamento inverso para o ambiente protegido que tiveram pequenas elipses e maior confiabilidade (Figuras 1C e 1D).

Às ACP's das variáveis e o comportamento das lâminas de irrigação na salinidade de S<sub>3</sub> para ambos os ambientes estudados são demonstrado pela soma dos autovalores e das proporções de variações foram de 12,60 e 13,74; de 70,04 e 76,32% para os ambientes campo e protegido, respectivamente (Tabela 1).

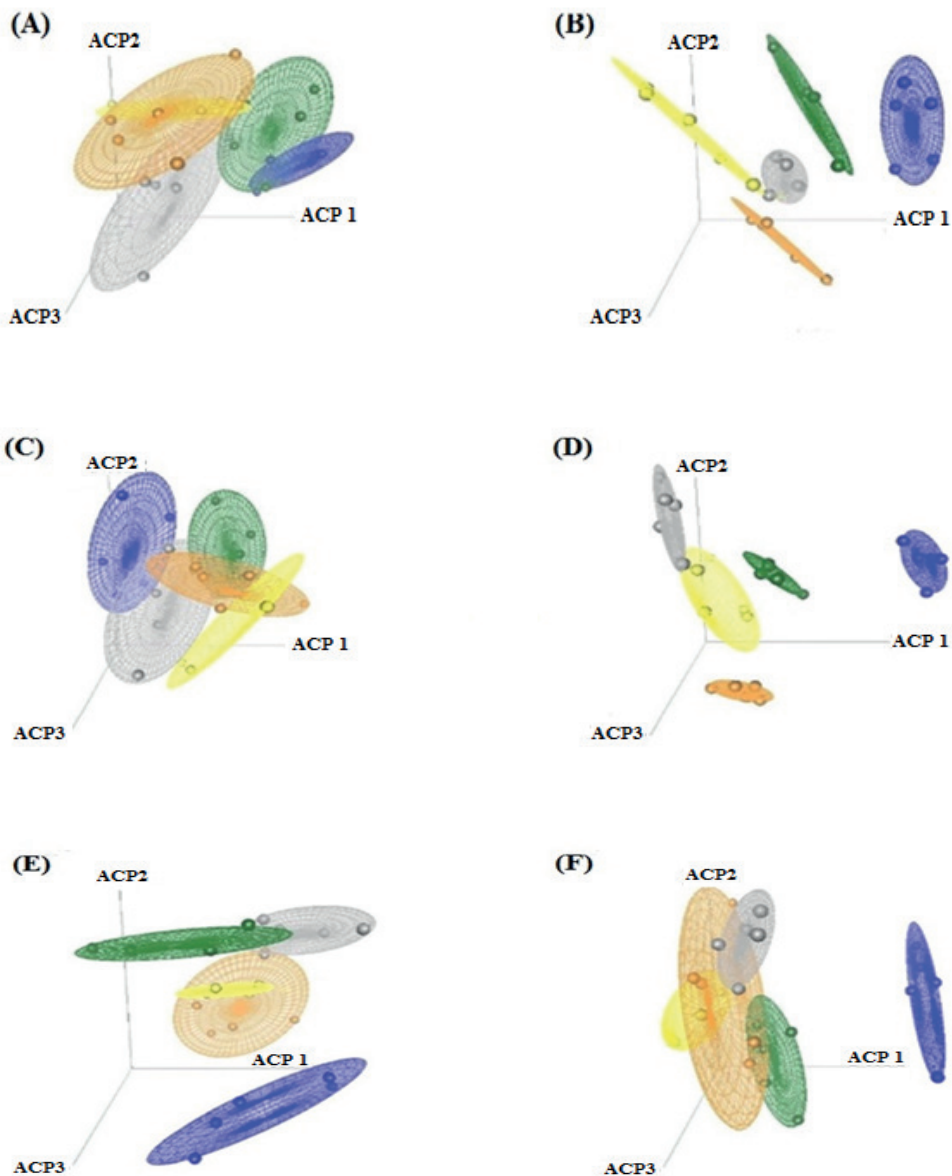
A melhor opção da lâmina de irrigação nas variáveis para S<sub>3</sub> é a L<sub>3</sub> seguida da L<sub>5</sub> para ambiente de campo e L<sub>1</sub> para protegido, as outras lâminas não são recomendadas e também tiveram as menores elipses (Figuras 1E e 1F). A salinidade de 3,12 mS cm<sup>-1</sup> obteve dimensões explicadas de 11,44 e 11,82 para os três primeiros autovalores juntos e de 65,63 e 80,55% para soma das três primeiras variações, para os respectivos ambientes campo e protegido (Tabela 1).

Na Figura 1G se pode observar que a salinidade S<sub>3</sub> em ambiente de campo todas as lâminas de irrigação tiveram pontos dispersos, formando grandes elipsóides impossibilitando por meio das análises de componentes principais a indicação da melhor opção de lâmina. Já o ambiente protegido ocorreu o inverso, todas as lâminas obtiveram pequenas elipses, indicando L<sub>2</sub> como melhor opção, embora tenha menor confiabilidade do que a segunda indicada (L<sub>1</sub>) com pontos próximos e a menor elipsóide (Figura 1H).

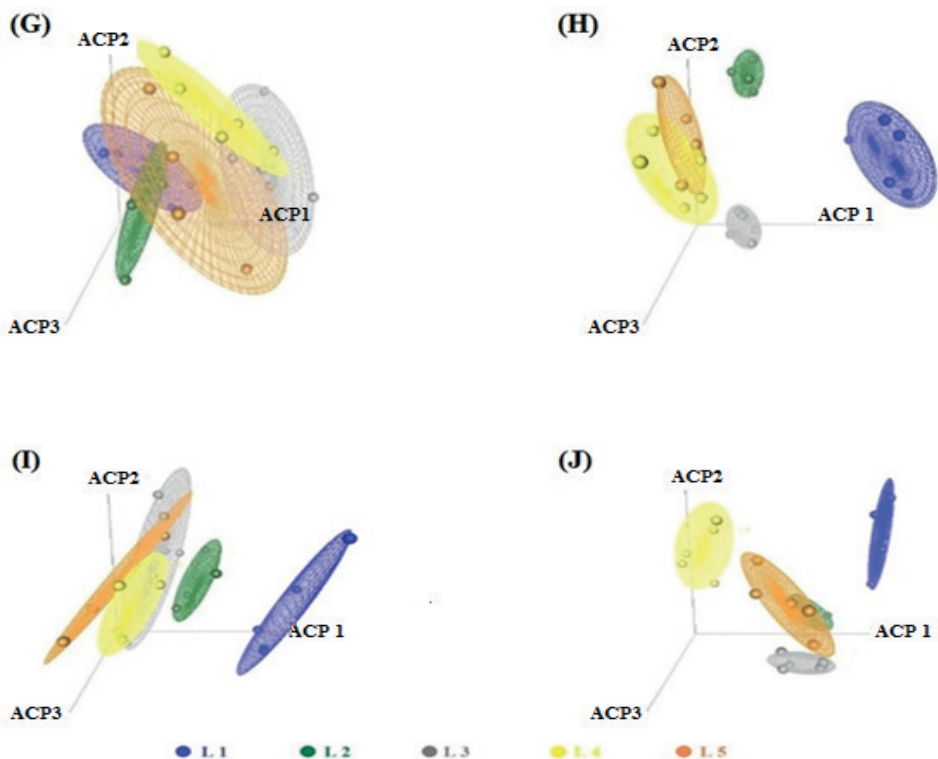
Às análises de componentes principais (ACP) das variáveis estudadas tiveram dimensões explicadas pelos três primeiros autovalores juntos de 13,02 (campo) e 13,26 (protegido) e pelas três primeiras proporções de variâncias de 72,32% (campo) e 73,69% (protegido) para cada lâmina de irrigação (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> e L<sub>5</sub>) na salinidade de 4,12 mS cm<sup>-1</sup> (Tabela 1).

A L<sub>2</sub> com a menor elipsóide e pontos próximos foi a melhor opção de lâmina recomendada por meio dos ACP's para o ambiente de campo, as demais lâminas tiveram elipses maiores e pontos dispersos nas três dimensões de ACP's (Figura 1I). Já para o protegido as lâminas L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub> foram as melhores opções, embora a primeira tenha pontos mais dispersos e maior elipse que a segunda (menor confiabilidade), tem também a maior concentração dos pontos entre os ACP1 e ACP2, sendo assim a L<sub>1</sub> a melhor opção para o protegido (Figura 1J).

Figura 1. Representação das lâminas de irrigação ( $L_1= 50$ ;  $L_2= 75$ ;  $L_3= 100$ ;  $L_4= 125$ ;  $L_5= 150$  % da ETc) em ACP (elipse 3D) na salinidade da água de: 0,12  $mS\ cm^{-1}$ , cultivado em ambiente de campo (A) e protegido (B); 1,12  $mS\ cm^{-1}$ , campo (C) e protegido (D); 2,12  $mS\ cm^{-1}$ , campo (E) e protegido (F); 3,12  $mS\ cm^{-1}$ , campo (G) e protegido (H); 4,12  $mS\ cm^{-1}$ , campo (I) e protegido (J).







A ACP das 18 variáveis estudadas no cultivo da alface das interações entre lâminas de irrigação com níveis de salinidade da água em ambientes de campo e protegido tiveram menores variações (menores elipses e pontos próximos) nas lâminas no primeiro ambiente, com destaque na  $L_3$ , seguida da  $L_2$ . Quanto à salinidade tiveram as maiores variações nas  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  para o campo,  $S_3$  (protegido).

As maiores variações das lâminas e das salinidades podem ser explicadas por meio do controle do ambiente no qual minimiza as interferências de fatores externos. Analisando todas as variáveis, a salinidade da água  $S_4$  (ambos os ambientes) teve menor variação, no qual poderá ser explicado devido o alto nível de sais na água, interferindo diretamente no desempenho das 18 variáveis.

As plantas, quando submetidas a estresse salino, podem apresentar diferentes respostas, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos. As alterações no metabolismo induzidas pela salinidade são resultado de várias respostas fisiológicas da planta, podendo se destacar as modificações no crescimento, comportamento estomático e capacidade fotossintética (Garcia, et al., 2010; Paiva, 2017).

As melhores respostas das variáveis por meio da análise multivariada com ACP da

interação da irrigação com a salinidade (LS), no qual obtiveram melhores desempenhos com menores variâncias, elipses pequenas (Figura 1), concentrados entre o ACP1 e o ACP2 foram  $L_3S_3$  para o ambiente de campo e  $L_1S_1$  para protegido, ou seja, a lâmina determinada na ETc da cultura com alta salinidade está diretamente ligada no desenvolvimento da cultura, isso é dado devido a disponibilidade de água de qualidade inferior (água com sais) no solo interfere nas questões osmóticas na fisiologia vegetal da cultura da alface, no qual tem limiar de salinidade de  $1,3 \text{ mS cm}^{-1}$ .

Devido à presença de sais nos solos, ocorrem algumas alterações químicas nos mesmos, que podem ser consequência das alterações físicas que são promovidas pelo excesso de sais no solo. Sendo assim, a utilização da irrigação requer atenção, pois esse sistema, quando mal manejado, pode promover danos ao solo e as plantas. Os efeitos dos sais nas plantas podem provocar diferentes respostas de estresse, ocasionando a diminuição na produção agrícola da maioria das culturas (Hu; Schmidhalter, 2002).

### Análise Hierárquica de Clusters

O agrupamento em propriedade de árvore (dendograma) otimizou a visualização das 18 variáveis por meio das análises hierárquicas de clusters (AF, NF, AP, DC, TR, EAF, ENF, EDC, MFF, MSF, MST, TAF, TAC, SPAD, Ca, Cb, Ca+b e Cx) na produtividade da cultura da alface em resposta as lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água para ambos os ambientes (campo e protegido). Analisando as Figuras a seguir serão observadas por meio de dendogramas e na performance em 5 clusters determinada por duas dimensões.

Na Tabela 2 se pode observar que a solução de cluster 5 resulta em um coeficiente de silhueta média máxima de 0,3999 para  $S_4$  (campo) e 0,4317 para  $S_2$  (protegido), respectivamente. O cluster 5 foi o mais agrupado pois obteve os maiores coeficientes para os dois ambientes, sendo para  $S_4$  (0,6882) em campo e para  $S_1$  (0,6879), protegido. Uma das variáveis no cluster 4 na  $S_1$  teve uma largura média de silhueta negativo (-0,0911), indicando que provavelmente está no cluster errado. As  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_5$  do cluster 4,  $S_1$  do cluster 5 (campo) e  $S_3$  do cluster 4 (protegido) tiveram coeficientes nulo, indicando maior dispersão das variáveis estudadas.

Tabela 2. Coeficiente médio de silhueta por cluster ( $Si_c$ ) e coeficiente médio de silhueta do conjunto de dados total ( $Si_t$ ) para cada salinidade ( $S_1, S_2, S_3, S_4$  e  $S_5$ ) em ambiente de campo e protegido

Cluster	Campo					Protegido				
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$Si_c 1$	0,611 2	0,302 3	0,336 8	0,276 6	0,564 9	0,387 3	0,325 8	0,529 9	0,285 5	0,572 1
$Si_c 2$	0,434 6	0,233 5	0,331 4	0,287 3	0,145 6	0,341 4	0,324 5	0,295 9	0,401 9	0,402 3
$Si_c 3$	0,612 1	0,599 8	0,454 6	0,535 5	0,315 9	0,266 3	0,342 3	0,551 6	0,365 7	0,360 1
$Si_c 4$	-0,091 1	0,000 0	0,000 0	0,379 2	0,000 0	0,448 8	0,649 9	0,000 0	0,378 8	0,402 2
$Si_c 5$	0,000 0	0,635 7	0,652 4	0,688 2	0,571 4	0,687 9	0,673 2	0,211 3	0,679 8	0,395 0
<b><math>Si_t</math></b>	<b>0,352</b> <b>9</b>	<b>0,365</b> <b>7</b>	<b>0,384</b> <b>4</b>	<b>0,399</b> <b>9</b>	<b>0,376</b> <b>6</b>	<b>0,391</b> <b>3</b>	<b>0,404</b> <b>7</b>	<b>0,383</b> <b>7</b>	<b>0,395</b> <b>0</b>	<b>0,431</b> <b>7</b>

Nas Figuras 3 e 4 mostram os agrupamentos por meio da análise hierárquica de clusters (AHC) da interação entre lâminas de irrigação e níveis de salinidade ( $L_1S_1, \dots, L_1S_5, L_2S_1, \dots, L_2S_5, L_3S_1, \dots, L_3S_5, L_4S_1, \dots, L_4S_5$ , e  $L_5S_1, \dots, L_5S_5$ ) baseadas nas mensurações, análises e leituras do conjunto de 18 variáveis da cultura da alface cultivadas em ambiente de campo e protegido, respectivamente.

A análise de agrupamento das 18 variáveis com base na área foliar, número de folhas e demais componentes em resposta a interação das lâminas de irrigação e níveis de sais na água (LS) classificou as variáveis em cinco grupos com 4, 3, 7, 3 e 8 número de interações LS para o ambiente de campo (Figura 3) e com 10, 6, 5, 3 e 1 para o ambiente protegido (Figura 4). A maior distância ou dissimilaridade entre as interações foram observadas para  $L_1S_4$  e  $L_1S_5$  (campo) e  $L_2S_1$  e  $L_3S_3$  (protegido). Já a maiores similaridades foram obtidas para as interações  $L_4S_2$  e  $L_5S_5$  (campo) e  $L_2S_1$  e  $L_2S_3$  (protegido). Com base nos resultados, cinco dos agrupamentos das interações agrupadas podem ter uma origem comum no cultivo em ambiente de campo, por outro lado, em protegido, uma interação ( $L_3S_2$ ) teria origem diferente dos demais quatro. Podendo assim observar que os aglomerados distanciados como primeiro e quatro aglomerados pode fornecer muita variação para fins de análise das variáveis entre as interações LS.

Nas Figuras 3 e 4 se pode observar que as melhores interações LS para variáveis biométricas e para eficiência do uso da água foram: 1) ambiente de campo:  $L_4S_1$  para AF, NF, DC e AP,  $L_5S_5$  para TR e  $L_1S_2$  para EAF, ENF, EDC; 2) ambiente protegido:  $L_3S_2$  para AF,  $L_4S_3$  e  $L_5S_2$  para NF,  $L_2S_2$  para DC,  $L_3S_2$  e  $L_4S_3$  para AP,  $L_3S_1$ ,  $L_3S_4$  para TR e  $L_1S_3$  para EAF, ENF, EDC. Em ambiente de campo houve maior similaridade entre das variáveis biométricas entre si e também entre o uso eficiente da água. Já em ambiente protegido a similaridade ocorreu apenas na eficiência do uso água.

Em ambiente de campo as variáveis de produtividade (MFF, MSF e MST) tiveram alta similaridade entre si e maiores dissimilaridade entre as variáveis teores de água na planta (TAC e TAF), as melhores interações LS foram:  $L_3S_1$  (MFF),  $L_4S_4$  (MSF e MST) e  $L_3S_1$  (TAC e TAF). Já para protegido, foram  $L_3S_2$  (MFF, MSF e MST),  $L_4S_2$  e  $L_4S_5$  (TAC e TAF), essas variáveis tiveram alta dissimilaridade entre as variáveis de produtividade e de teores de água na planta (Figuras 3 e 4).

Já as variáveis responsáveis pelas leituras de clorofila e do processo de fotossíntese tiveram melhores interações LS alta similaridade para ambiente de campo (Figura 3), exceto para o SPAD, foram:  $L_3S_3$  (Ca e Cx),  $L_2S_3$  (Cb e Ca+b) e  $L_3S_1$  (SPAD). Já em protegido (Figura 4) tiveram maiores similaridades entre todas as variáveis de clorofila: Ca ( $L_2S_5$ ), Cb ( $L_1S_3$ ), Ca+b ( $L_2S_1$ ), Cx ( $L_2S_5$ ) e SPAD ( $L_1S_1$  e  $L_1S_3$ ).

Figura 3. Resultado da análise de agrupamento (dendograma hierárquicas de clusters) para 18 variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de lâminas de irrigação e níveis de salinidade (LS) ambiente de campo

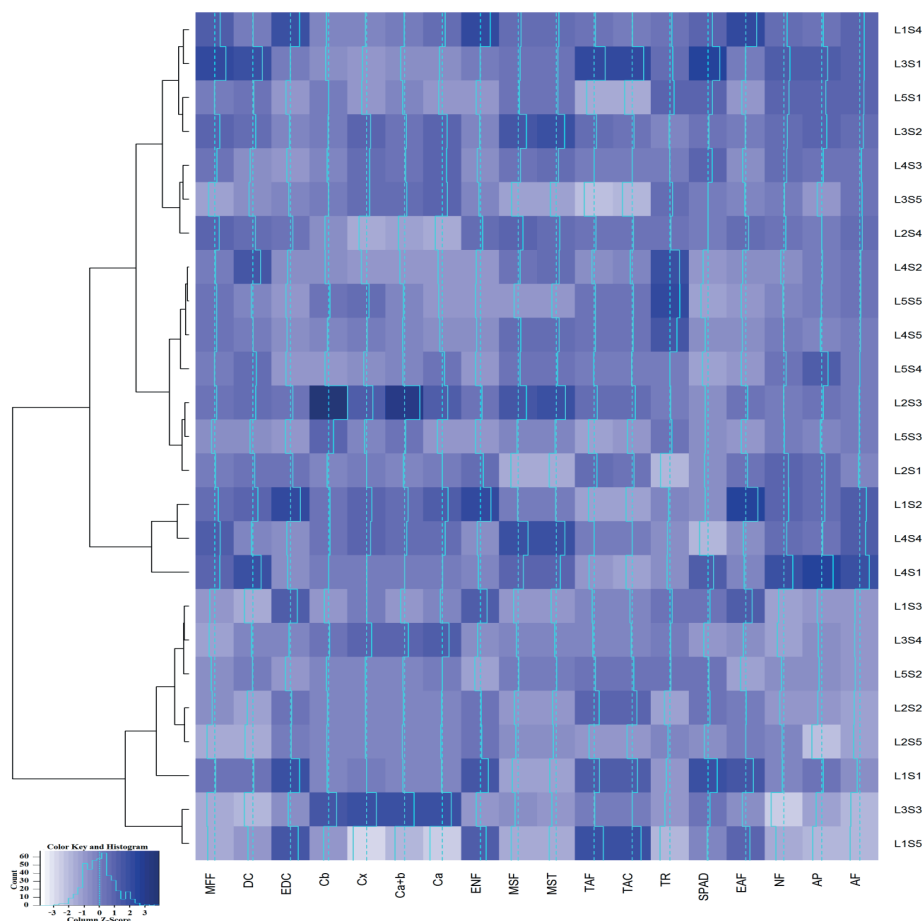
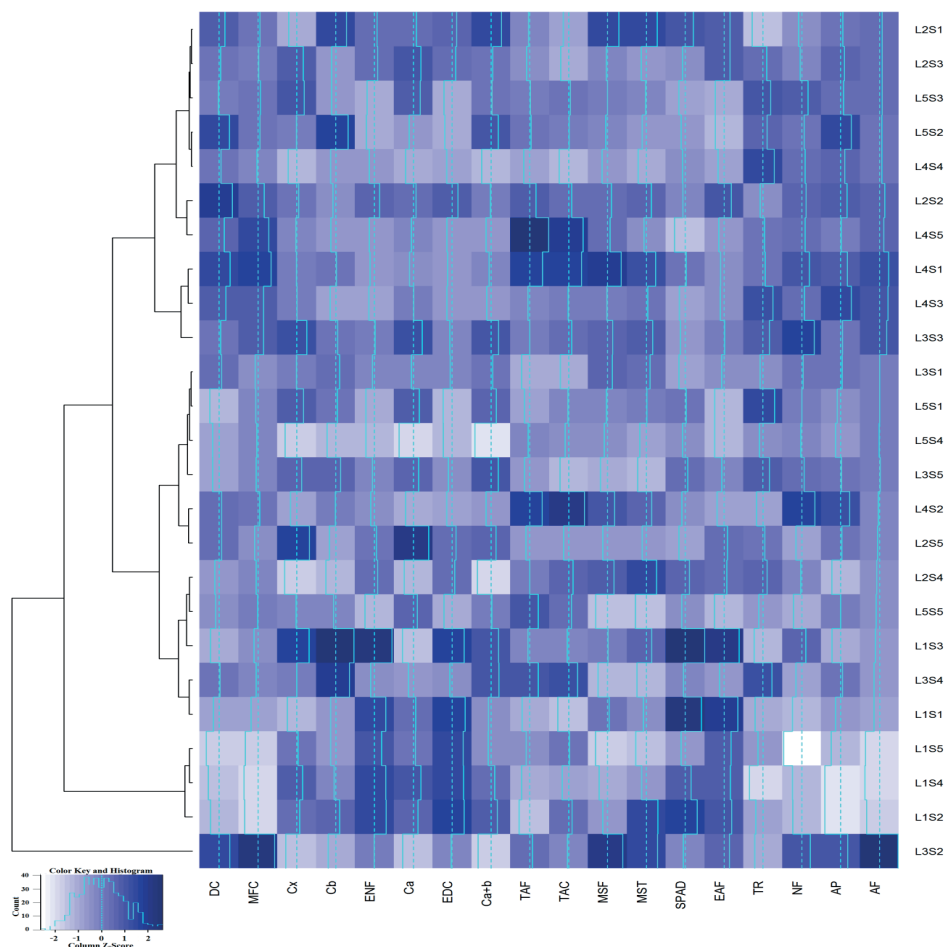


Figura 4. Resultado da análise de agrupamento (dendograma hierárquicas de clusters) para 18 variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de lâminas de irrigação e níveis de salinidade (LS) ambiente de protegido



Os maiores coeficientes da largura média da silhueta teve melhor desempenho das lâminas na salinidade de  $3,12 \text{ mS cm}^{-1}$  em campo e de  $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$  em ambiente protegido. Esse alto desempenho com uma alta salinidade da água de irrigação em campo possivelmente ocorreu devido a possibilidade dos sais no perfil do solo terem sido lixiviados pela precipitação em época de chuvas, diferentemente do que ocorreu em ambiente protegido, no qual o coeficiente da largura da silhueta foi para água de boa qualidade das variáveis estudadas (Tabela 2).

Na análise de agrupamento de cluster (Figuras 3 e 4) a maior dissimilaridade observada em campo entre as interações  $L_1S_4$  e  $L_1S_5$  e também as maiores similaridades foram obtidas para as interações  $L_4S_2$  e  $L_5S_5$ . Tal fato, pode ser explicada o alto teor de sais teve na menor lâmina 50% da  $ET_c$  teve maiores diferenças porque possivelmente deve ter

ocorrido a lixiviação dos sais. Já em ambiente protegido (cultivo controlado, sob drenagem de água e sais) pôde ser observado o inverso nas interações  $L_2S_1$  e  $L_3S_3$  (dissimilaridade) e  $L_2S_1$  e  $L_2S_3$  (similaridade).

Para os dois ambientes (Figuras 3 e 4), o dendograma mostra que a média das melhores interações LS apresentaram melhores resultados para maioria das variáveis biométricas, como também para variáveis de produtividade as lâminas de irrigação maiores ou iguais a de 100% da ETc associadas a menores teores de sais, isso ocorreu devido a sensibilidade da cultura da alface ao estresse hídrico e o limiar de teor de sais da água destinada a irrigação. Devido à fisiologia vegetal de que a cultura alface obtém maior concentração do índice de clorofila em menor quantidade de água na planta, explicando assim as melhores interações LS para lâminas de irrigação menor igual que 100% da ETc e salinidade menor  $1,12 \text{ mS cm}^{-1}$ .

O agrupamento nos cinco clusters plotados em relação aos dois primeiros componentes principais dos dados, indicando o cluster para cada variável a qual pertence, com primeiras dimensões de 90,4 e 97,1% e segundas 4,9% e 2,2% para os ambientes campo e protegido, respectivamente.

## CONCLUSÕES

A análise de componente principal mostrou que as lâminas de irrigação com 100% da ETc, seguida da 75% da ETc, são as melhores lâminas de irrigação para o cultivo da alface;

Os níveis de salinidade da água tiveram as maiores variações para o ambiente de campo, devido às interferências de fatores externos, sendo que o cultivo em ambiente protegido ocorreu as maiores variações das variáveis nos fatores lâminas de irrigação;

O nível de salinidade da água S4 (ambos os ambientes) interferiu diretamente no desempenho de todas as variáveis, mas demonstrou menor variância;

O melhor desempenho das variáveis na interação LS entre o ACP1 e o ACP2 foram  $L3S3$  para o ambiente campo e  $L1S1$  para protegido, devido o limiar de salinidade da água no cultivo da alface ser de  $1,3 \text{ mS cm}^{-1}$ ;

As interações  $L1S4$  e  $L1S5$  obtiveram maiores dissimilaridades e  $L4S2$  e  $L5S5$  as maiores similaridades em campo, ocorrendo o inverso no protegido com dissimilaridade entre as  $L2S1$  e  $L3S3$  e similaridade entre as  $L2S1$  e  $L2S3$ ;

A análise hierárquica de cluster mostrou que as variáveis: matéria fresca das folhas (parte comercial da cultura) e o diâmetro da copa são as de maiores importância entre as demais;

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos do Grupo de Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica (Grupo Irriga) do Campus de Arapiraca da UFAL por todo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, J. M. A., Jacobovitz, D. M. L. B., & Pretto, D. R. (2014). Avaliação do método estatístico de análise da componente principal (PCA) para níveis de infestação de formigas cortadeiras em plantações de eucalipto. *Revista Científica Eletrônica Uniseb. Ribeirão Preto*, 3(2), 181 – 199.

Filgueira F. A. R. (2008). *Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV. 402p.

Garcia, G. O., Nazário, A. A., Moraes, W. B., Gonçalves, I. Z. & Madalão, J. C. (2010). Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, 18(4), 330-338. DOI: 10.13083/1414-3984.v18n04a07.

Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M., & Oliveira Junior, G. J. (2015). Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S - Engineering and Science*, 5(1), 83-90. DOI: 10.18607/ES20165053.

Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2002). Limitation of salt stress to plant growth. In: Hock, B., Elstner, C.F. (Eds.), *Plant Toxicology*. Marcel Dekker Inc., New York, 91–224.

Koppen, W. (1948). *Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra*. Publications In: *Climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey*. 104p.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (1998). *Applied multivariate statistical analysis*. Madison: Prentice Hall International, 816p.

Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R.; Vivas, E.; Todorovic, M.; & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovate practices. *Agricultural Water Management*, 146, p. 84-94. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.012

Paiva, F. I. G. (2017). *Manejo da fertirrigação potássica e cálcica na cultura do tomateiro cultivadas em ambiente protegido e submetidas ao estresse salino*. Dissertação de Mestrado - Manejo de Solo e Água. UFERSA, Mossoró-RN, 66p.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M, Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria, RS: UFSM, NTE.

Putti, F. F. (2015). *Análise dos indicadores biométricos e nutricionais da cultura da alface (Lactuca sativa L.) irrigada com água tratada magneticamente utilizando modelagem fuzzy*. Tese de Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP, 202p.

Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture*, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.

Santos, M. A. L., Santos, L. A., Lucas, A. A. T., Gomes Filho, R. R., & Santos, D. P. (2020). Sistema lisimétrico de informações para monitoramento do consumo de água pelas plantas (SLIMCAP). *Desenvolvimento de Pesquisa Científica na Agricultura Irrigada*, Editora Atena, c.7, 58-65. DOI: 10.22533/at.ed.8872028107.

Silva A. O. A. (2014). Fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido, *Nativa*, Sinop, *Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 2(3), 180-186. DOI: 10.14583/2318-7670.v02n03a10.

Snyder, R. L., Pedras, C., Montazar, A., Henry, J. M., & Ackley, D. (2015). Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agricultural Water Management*, 147, 187-197. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.024.

Saed-Moucheshi, A., Fasihfar, E., Hasheminasab, H., Rahmani, A., & Ahmadi, A. (2013). A Review on Applied Multivariate Statistical Techniques in Agriculture and Plant Science. *International journal of Agronomy and Plant Production*. 4(1), 127-141.

Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2000). *Data Mining: Concepts and Techniques* (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems). Morgan Kaufmann.

Tiwari, M., & Misra, B. (2011). Application of Cluster Analysis in Agriculture: A Review Article. *International Journal of Computer Applications*. 36(4), 43-47.

Xavier, R. A., & Dornellas, P. C. (2010). Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, região Agreste de Alagoas. *Geografia*, Londrina, 14(2), 49-64.



## EXPERIMENTAÇÕES EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS

É comum encontrar experimentos que abordam vários cenários nas Ciências Biológicas com boas práticas de pesquisa de campo e em laboratório. O desenvolvimento das plantas é um fato com vários ciclos e com a participação da água e os princípios físico-químicos encontrados na Biologia com seus aspectos biológicos e ambientais envolvidos no processo. Este capítulo aborda temas ligados à temática das biológicas, agrárias e ambientais e procura aproximar as leis das Ciências da Natureza, com seus equilíbrios inter-relacionados, das Ciências Ambientais.

A metodologia dos experimentos é de fácil adaptação para outras hipóteses levantadas e leva seus participantes a um contato mais direto com causas e efeitos que levam à produção do conhecimento.

A sequência didático-pedagógica e científica dos trabalhos nos capítulos é apresentada como produto que foi validado pelos autores e pesquisadores como coparticipantes da trajetória científica. Todos os quatro capítulos dessa sessão visam contribuir para a formação de estudantes biólogos e amantes da natureza com o engajamento biológico e ambiental.

Organizador

Rubens Pessoa de Barros