



**EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA  
SALINA NO CRESCIMENTO INICIAL DO  
CAFEIRO (*Coffea arabica* L.) E NA  
SALINIZAÇÃO DO SOLO**

**VLADIMIR BATISTA FIGUEIRÊDO**

**2003**

56895  
048654

**VLADIMIR BATISTA FIGUEIRÊDO**

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) E NA SALINIZAÇÃO DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Manoel Alves de Faria

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

2003

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA

Figueirêdo, Vladimir Batista

Efeito da irrigação com água salina no crescimento inicial do cafeeiro  
(*Coffea arabica* L.) e na salinização do solo / Vladimir Batista Figueirêdo. -  
- Lavras : UFLA, 2003.

79 p. : il.

Orientador: Manoel Alves de Faria.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Salinidade da água de irrigação. 2. Café. 3. Salinização do solo. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.7387

**VLADIMIR BATISTA FIGUEIRÊDO**

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIRO (*Coffea arabica* L.) E NA SALINIZAÇÃO DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 13 de agosto de 2003

Dra. Fátima Conceição Resende

UFLA

Prof. Dr. Rubens José Guimarães

UFLA

Prof. Dr. Elio Lemos da Silva

UFLA

  
Prof. Dr. Manoel Alves de Faria

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

*“Tu, que fazes sair as fontes nos vales,  
as quais correm entre os montes.  
Fazes crescer a erva para o gado,  
e a verdura para o serviço do homem,  
para fazer sair da terra o pão.*

*Salmo, 104:10, 14.*

Aos meus pais que, como sempre, são as fontes de  
inspiração, fazendo com que esta obra tornasse realidade.  
Aos meus irmãos que, mesmo com toda a distância,  
souberam transmitir a confiança e incentivo necessários  
ao longo dessa conquista. Aos meus dois sobrinhos  
que hoje nos enchem de força para seguirmos em frente.  
A toda a minha família, primos, tios e tias, meus  
quatro avós, pelo apoio que sempre se faz necessário.

*DEDICO e OFEREÇO.*

À nossa prima Cláudia (*in memoriam*) que  
jaz há pouco tempo, sempre na lembrança de  
toda sua alegria e descontração e faz com que  
cada dia de nossas vidas seja mais uma batalha  
a ser vencida.

*HOMENAGEM*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realizar o curso e desenvolver este trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores das disciplinas cursadas, pelos ensinamentos e amizade.

Ao Professor Manoel Alves de Faria, pela dedicação, orientação e amizade tão úteis a mim concedidos.

Aos Professores Elio Lemos da Silva, Fátima Conceição Resende e Rubens José Guimarães, pelas valiosas sugestões, observações e sincera amizade prestadas para o engrandecimento e melhoria deste trabalho.

Aos funcionários do Setor de Engenharia de Água e Solo (Departamento de Engenharia), José Luiz, Lindeberg "Seu Berg" e Oswaldo "Neném", sempre presentes e dispostos a ajudar.

Aos colegas de curso, Alisson, Cynthia, Débora, Deoclécio, Evonaldo, João Batista, Kelte, Luiz Alexandre, Márcio Willian, Néelson Sá, Polyanna, Tadeu, Welson e a todos os amigos que conheci ao longo desses dois anos.

Aos amigos de república, Alexandre, Airton, Cristóvão, Fábio, Kaesel e Pedro, pelo companheirismo e os momentos de dificuldades e alegrias que passamos juntos.

A todos que, finalmente, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

Meus sinceros agradecimentos

3.8.1.3 Análises foliares .....	33
3.8.1.4 Produção de massa fresca e seca .....	33
3.8.2 Características relacionadas ao solo .....	34
3.8.3 Características climáticas dentro da casa de vegetação .....	37
3.9 Análises estatísticas dos dados .....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
4.1 Características climáticas .....	38
4.2 Controle das irrigações .....	40
4.3 Características da planta .....	41
4.3.1 Altura .....	41
4.3.2 Diâmetro .....	44
4.3.3 Área foliar .....	47
4.3.4 Massa fresca e seca de caule, folhas e de raízes .....	50
4.3.5 Teores de macro e micronutrientes nas folhas .....	53
4.4 Características do solo .....	55
4.4.1 Salinidade .....	55
4.4.2 Teores de macro e micronutrientes .....	59
4.5 Considerações finais .....	60
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## RESUMO

FIGUEIRÊDO, Vladimir Batista. Efeito da irrigação com água salina no crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e na salinização do solo. 2003. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

A expansão da cultura do cafeeiro para regiões ainda pouco exploradas é uma realidade, fazendo com que estudos sobre a influência de fenômenos, como o estresse salino do solo provocado pela salinidade da água de irrigação, sejam necessários. Nesse contexto, avaliou-se o crescimento de mudas do cafeeiro, em fase de formação da lavoura, submetendo-o a níveis crescentes de salinidade da água de irrigação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 6 tratamentos ( $S_0=0,0 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $S_1=0,6 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $S_2=1,2 \text{ dS m}^{-1}$ ;  $S_3=1,8 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $S_4=2,4 \text{ dS m}^{-1}$  e  $S_5=3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e 4 repetições. A reposição de água foi realizada, com base na curva característica do solo, pela leitura da tensão de água por blocos de resistência, retornando o conteúdo de água a capacidade de campo. Durante o período de avaliação, as temperaturas e umidades máximas e mínimas oscilaram entre  $36^{\circ}\text{C}$  e  $19^{\circ}\text{C}$  e 81% e 43%, respectivamente. Na análise de regressão para as características da planta, como altura, diâmetro do colo e área foliar, verificou-se que os níveis de salinidade aplicados influenciaram significativamente todas estas características, apresentando comportamento logístico para altura, quadrático e de Mitscherlich para o diâmetro, e logístico modificado para a área foliar. Os teores de Na aumentaram com o nível de salinidade, tanto nas folhas como no solo. A salinidade do solo chegou a  $16,23$  e  $13,68 \text{ dS m}^{-1}$  no  $S_5$ , para as camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente, tendo a PST sido classificada como extremamente elevada para os tratamentos  $S_3$ ,  $S_4$  e  $S_5$ . Verificou-se que a salinidade do solo influenciou o crescimento da planta, tanto pelo estresse osmótico como pela toxicidade, tendo em vista os sintomas foliares. A alta salinidade e sodicidade do solo no final do experimento classificaram-no como salino-sódico. Recomenda-se não utilizar água de irrigação com salinidade acima de  $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ .

---

\* Comitê Orientador: Manoel Alves de Faria - UFLA (Orientador), Elio Lemos da Silva - UFLA, Rubens José Guimarães - UFLA.

## ABSTRACT

FIGUEIRÊDO, Vladimir Batista. Effect of saline irrigation water in the initial growth of coffee plants (*Coffea arabica* L.) and soil salinity. 2003. 79p. Thesis (Master of Science in Agricultural Engineering/Irrigation and Drainage) – “Universidade Federal de Lavras”, Lavras, MG - Brasil.\*

The expansion of the coffee crop to new areas is a reality, justifying the necessity of studies about its response to saline irrigation water. The coffee plants initial growth was evaluated, under different levels of salinity of the irrigation water. The experiment was developed in a greenhouse at the Engineering Department of the “Federal University of Lavras “ (UFLA). It was used a random completely design with 6 treatments (S0=0.0 dS m<sup>-1</sup>, S1=0.6 dS m<sup>-1</sup>, S2=1.2 dS m<sup>-1</sup>; S3=1.8 dS m<sup>-1</sup>, S4=2.4 dS m<sup>-1</sup> and S5=3.0 dS m<sup>-1</sup>) and 4 replications. The irrigation was accomplished in agreement with the soil water retention curve and resistance blocks readings restoring the water content to field capacity. During the evaluations, the temperatures and air relative humidity oscillated from 36 °C to 19 °C and 81% to 43%, respectively. The regression analysis for plant height, trunk diameter and leaf area, revealed that salinities influence significantly these plants parameters. It was verified a logistics behavior for height, quadratic and Mitscherlich for trunk diameter and modified logistics for leaf area. The Na content increased with the water salinity level in the leaves and soil. The soil salinity reached values of 16.23 dS m<sup>-1</sup> and 13.68 dS m<sup>-1</sup> in the S5 treatment, for 0 - 10 and 10 - 20 cm layers respectively. The ESR was classified as extremely elevated for the treatments S3, S4 and S5. It was verified the soil salinity affects the growth of plant because the osmotic stress and toxicity. The high salinity and sodicity of the soil at the end of the experiment, classified it as saline-sodic. It is recommended not using irrigation water with salinity above 1.2 dS m<sup>-1</sup> for young coffee plants.

---

\* Guidance Committee: Manoel Alves de Faria - UFLA (Adviser), Elio Lemos da Silva - UFLA, Rubens José Guimarães - UFLA.

# 1 INTRODUÇÃO

O café sempre se destacou no cenário agrícola brasileiro, sendo durante muito tempo, a principal espécie cultivada e exportada pelo país, chegando a mais de 70% das exportações, numa época em que era o principal produto primário no cenário mundial. Mas, apesar de sua importância, ainda são poucos os trabalhos no que diz respeito à qualidade da água de irrigação, isto é, poucos esforços têm sido dedicados ao estudo desse fator que pode alterar o comportamento e a produtividade, afetando o rendimento e a qualidade do café. Com o advento da irrigação e posterior aumento de produtividade, o cultivo do cafeeiro tem se expandido para regiões até então consideradas inaptas, chamadas de “fronteiras agrícolas”. São elas o norte e o noroeste de Minas Gerais, o sudoeste e o oeste da Bahia, o norte do Espírito Santo, o cerrado da região Centro-Oeste, entre outras. Nestas regiões, como é o caso, por exemplo, do cerrado da Bahia, tem-se obtido produtividade média de 65 sacas/ha, chegando-se a observar lotes com mais de 90 sacas/ha.

Sabe-se que as diferentes espécies e cultivares de plantas reagem diferentemente à salinidade, isto é, cada espécie de planta ou cultivar tolera até uma dada salinidade sem reduzir o seu rendimento potencial (salinidade limiar - SL), a partir da qual passa a diminuir a produtividade à medida que se incrementa a salinidade do solo (Ayers & Westcot, 1991). Dessa forma, a definição da salinidade da água/solo crítica para as principais culturas exploradas é fundamental para melhorar o manejo das áreas irrigadas. Por outro lado, devido à escassez ou má distribuição de chuvas em regiões marginais à cultura do café, a prática da irrigação torna-se imprescindível para seu cultivo. Neste contexto, um dos cuidados que se deve ter por ocasião da expansão da cafeeicultura para estas regiões fronteiras e que deve ser considerado com a

devida importância, está relacionado à qualidade da água de irrigação. Nestas regiões, por suas próprias características como baixo índice pluviométrico e alto déficit hídrico, ocorre sempre o risco do uso d'água de baixa qualidade, normalmente devido ao alto nível de salinidade e que, por consequência de seu mau uso, pode provocar a salinidade destes solos. Como não se têm dados de resistência do cafeeiro a este estresse salino, pode ser que tenhamos, a médio e longo prazo, a diminuição da produtividade nestas regiões.

Entretanto, pela grande importância desta cultura no cenário nacional, os técnicos e produtores sentem a necessidade da obtenção de informações atualizadas que lhes permitam obter mudas saudáveis e vigorosas para melhorar o rendimento e esclarecer dúvidas que existem frequentemente no campo, como a resposta desta cultura à salinidade da água de irrigação, ou sobre o correto manejo da irrigação para o aumento de sua produtividade. Devido a esta falta de conhecimento específico, aliada à expansão da cafeicultura, este trabalho de pesquisa teve o objetivo de avaliar o comportamento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em relação ao uso de seis níveis de salinidade da água de irrigação, durante o período de formação da lavoura, de modo a situar esta importante cultura no que diz respeito à tolerância a este tipo de estresse do solo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Considerações gerais

O café é um dos produtos agrícolas de maior importância no cenário mundial, sendo o segundo maior gerador de divisas, perdendo apenas para o mercado do petróleo, movimentando cerca de 12 a 13 bilhões de dólares em todo mundo. A sua importância sócio-econômica para o Brasil é facilmente notada quando observamos nossos lotes de divisas internacionais e o número de empregos gerados no campo (Guimarães et al., 2002).

A expansão da cafeicultura ocorreu, basicamente, a partir da década de 1970, em função de dois fatores: primeiro, houve o plano de renovação e revigoramento dos cafezais visando, com a assistência técnica e financiamentos, atingir aproximadamente quatro bilhões de cafeeiros, o que significou uma renovação de 60% do parque cafeeiro; segundo, o baixo custo das terras (cerrados) na época; em consequência, cerca de 200 milhões de cafeeiros foram implantados em outras regiões, principalmente nos Cerrados (Pereira & Aguiar, 1996). Segundo estes mesmos autores, a partir de meados da década de 1970, devido a estes fatos nas regiões tradicionalmente produtoras de café, esta cultura vem se deslocando para regiões como o Cerrado que, naquela época, era responsável por apenas 3,26% da produção nacional.

Estas áreas, como o cerrado de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul, apresentam excelentes características edafoclimáticas que permitem a exploração da cafeicultura de alta qualidade. Atualmente, estima-se que, dentre os 2,27 milhões de hectares de café em formação e produção no Brasil, existem cerca de 200 mil hectares de café irrigado distribuídos, principalmente, nos estados do Espírito Santo (60% a 65%), Minas Gerais (20%

a 25%) e Bahia (10% a 15%). Neste contexto são utilizados desde a “molhação” até sistemas mais sofisticados, associados à fertirrigação e quimigação (Um Panorama..., 2000). Tendo em vista as condições de topografia, clima e altitude, a cultura de café encontrou, em algumas sub-regiões dos Cerrados, as melhores condições para o seu desenvolvimento e estas sub-regiões ainda têm grande potencial para expansão (Pereira & Aguiar, 1996).

No Brasil, estima-se que a área total de solos afetados por sais é superior a 4 milhões de hectares. No Nordeste brasileiro, Pereira et al. (1985), citados por Blanco (1999), estimam em mais de nove milhões de hectares a área total ocupada pelos solos originalmente salinos (planossolos, solonetz, solonchack e outros). Porém, quando se relacionam cafeeiro e salinidade, tem-se notado uma carência de informações com bases científicas, no que diz respeito à tolerância da cultura aos sais presentes no solo e na água de irrigação utilizada. Mesmo regiões tradicionalmente e climaticamente aptas para o cultivo do café, como o Sul de Minas, têm necessitado de irrigação suplementar.

O Brasil necessita definir políticas a curto, médio e longo prazos que estabilizem o setor cafeeiro, dando prioridade à pesquisa em todos os segmentos da cadeia, principalmente aqueles que visam melhor produtividade e redução de custos. Sendo assim, existem poucos trabalhos relacionados a cultivo do cafeeiro nestas regiões marginais, principalmente quanto ao surgimento de problemas que poderão tomar grandes dimensões, afetando diretamente a produtividade da cultura.

## **2.2 Manejo da água de irrigação para a cultura do café**

Para se proceder à irrigação é necessário conhecer, além de outras características, a quantidade de água a ser aplicada. Isto se complica quando

existem problemas de salinidade, pois a cultura pode reduzir o consumo de água. A irrigação do cafeeiro no Brasil é uma prática imprescindível para o aumento da produtividade e, como toda tecnologia em fase de implantação, muito carente de informações. Os limites e as características envolvidos em todo processo de produção desta cultura irrigada, ainda estão sendo investigados, cabendo aos pesquisadores da área responder a infinidade de questionamentos, impostos por técnicos, produtores e empresários do setor.

O objetivo principal da irrigação é proporcionar às culturas, no momento oportuno, a quantidade de água necessária para o seu ótimo crescimento e, assim, evitar a diminuição dos rendimentos, provocada pela falta de água durante as etapas de desenvolvimento sensíveis à escassez. No entanto, com as irrigações, os sais contidos na água acumulam-se na zona radicular, diminuindo a disponibilidade de água. A compreensão do processo de salinização permite encontrar formas de evitar seus efeitos e diminuir a probabilidade de redução de rendimentos das culturas (Oliveira, 1999). O estudo de modelagem conceitual de Rhoads & Merrill (1976), citados por Medeiros (1998), mostra que a salinidade dos solos e as respostas das plantas à salinidade são afetadas pelas características de retenção de água do solo, frequência de irrigação, fração de lixiviação e salinidade da água de irrigação.

Segundo Camargo (1987), as regiões aptas ao cultivo do cafeeiro estão relacionadas com as condições de umidade do solo. Elas são definidas por critérios baseados na deficiência hídrica anual (dha), expressa pelo balanço hídrico proposto por Thornthwaite & Mather, que são: apta para dha menor que 150 mm, marginal para dha entre 150 e 200 mm e inapta para dha maior que 200 mm. A redução da produção varia de acordo com a região e o ano considerado e é inerente às condições climáticas locais. Porém, há necessidade de irrigação em virtude da ocorrência de déficit hídrico nos períodos críticos da cultura, os quais, segundo Camargo (1987), são:

- fase de chumbinho: de outubro a dezembro. Em função da temperatura, esta fase pode ser antecipada de um a dois meses. A deficiência hídrica severa atrasa o crescimento dos frutos, resultando peneira baixa, além de reduzir a produtividade;

- fase de granação: de janeiro a março. A deficiência de água afeta a granação dos frutos, aumentando o chochamento e reduzindo a produtividade;

- fase de maturação e abotoamento: de abril a junho. A deficiência hídrica não afeta a maturação dos frutos já formados nem a produção do ano; porém, afeta a abotoação e frutificação do ano seguinte.

- dormência: de julho a setembro. A deficiência hídrica pode ser até benéfica pelo fato de condicionar um florescimento abundante após chuvas ou irrigações no final da fase, resultando uma frutificação e maturação mais uniforme na safra seguinte.

Segundo Faria & Rezende (1998), regiões climaticamente aptas ao cultivo do café vêm sofrendo o efeito da estiagem justamente nesses períodos críticos de demanda de água pelas plantas. Com isso, há queda de produção em várias lavouras da região Sul de Minas e, conseqüentemente, uma demanda de informações por parte dos produtores a respeito da prática de irrigação em cafeeiro.

No entanto, vários experimentos têm verificado se é mesmo necessário irrigar em certas épocas do ano. Miguel (1976) verificou a influência da deficiência hídrica no desenvolvimento de frutos de café em diferentes épocas após a floração. O autor observou que o período no qual a deficiência hídrica foi mais crítica está compreendido entre 90 e 120 dias após o florescimento. Este período geralmente coincide, em várias regiões cafeeiras do Brasil, com os meses de janeiro e fevereiro, evidenciando a necessidade de irrigação suplementar, principalmente nas áreas com maior probabilidade da ocorrência de veranicos. Oliveira (2003a), trabalhando com cafeeiro Acaia Cerrado, verificou

que a irrigação em épocas diferentes do ano não afetou o crescimento vegetativo nem o peso de frutos, proporcionando maior número de florada com taxa de vingamento superior quando irrigado na mesma época de florescimento. Já Barros et al. (1999), em trabalho no qual testaram-se várias épocas de irrigação, verificaram que a irrigação durante o ano todo se mostrou superior em relação ao crescimento vegetativo, com tendência de aumento de produtividade (em torno de 6 sacas/ha). Observou-se também que a irrigação o ano todo foi superior à irrigação aplicada em determinadas épocas do ano para as características avaliadas.

Buscando estimar a demanda hídrica da cultura do cafeeiro em situações diversas, várias pesquisas têm sido realizadas. Dentre os métodos de estimativa, a maioria deles trabalha com o balanço hídrico para a cultura. Por exemplo, Antunes et al. (2000), trabalhando com duas cultivares de cafeeiro arábica em formação irrigadas por gotejamento, por meio de dois métodos diretos (lisimetria e balanço hídrico), encontraram uma evapotranspiração média da cultura no período mais quente de  $1,45 \text{ mm dia}^{-1}$  e no mais frio de  $1,05 \text{ mm dia}^{-1}$  com coeficientes de cultura de 0,35 e 0,40 para os mesmos períodos, respectivamente. Sousa et al. (2001) encontraram uma demanda hídrica com valores médios de 2,4 a  $2,7 \text{ mm dia}^{-1}$  e um coeficiente de cultura de 0,8, utilizando o método do balanço hídrico, em cafeeiros em produção irrigados por pivô central, no norte do Espírito Santo e no sul da Bahia. França Neto et al. (2001) encontraram, para duas cultivares de café arábica na fase de maturação de frutos, uma evapotranspiração de  $2,17 \text{ mm dia}^{-1}$ , para o período de janeiro a junho de 2001, e Kc variando de 0,49 a 0,60, em Viçosa, MG. Oliveira (2003b), trabalhando com cafeeiro Catuai, verificou que, para o cafeeiro com 16 anos de cultivo, a evapotranspiração variou de 2,52 a 3,50, com uma média de  $2,85 \text{ mm dia}^{-1}$  e com coeficiente de cultura variando de 0,72 a 1,50, com uma média de 0,97. Já para o cafeeiro recepado, a evapotranspiração no período analisado

variou de 1,55 a 2,01, com média de 1,68 mm dia<sup>-1</sup>, com coeficiente de cultura variando de 0,44 a 0,87, com média de 0,51.

Há diversas maneiras de se quantificar as necessidades hídricas e de prescrever as regas necessárias para complementar as chuvas insuficientes. Existem modelos pedológicos, baseados na determinação dos teores de água no solo: os modelos físicos, que utilizam determinações da tensão de umidade do solo; modelos fisiológicos, baseados nas reações da planta às deficiências de água no solo e modelos irrigacionistas que utilizam leitura do tanque “Classe A” (Camargo, 1987). Este mesmo autor utilizou o modelo de quantificação de rega climático fenológico. Este modelo é baseado no balanço contábil entre a demanda de água (fundamentada na evapotranspiração potencial) e a disponibilidade hídrica no solo (baseada na capacidade de armazenamento de água facilmente disponível na zona radicular), além do suprimento de água fornecida pela rega ou pela precipitação pluviométrica junto à cultura.

Um método bastante utilizado no manejo da irrigação para determinar a quantidade de água necessária à planta é o tanque Classe “A”. Segundo Coelho (2001), dentre os fatores que favorecem o uso do tanque Classe “A” no manejo de sistemas de irrigação estão o seu custo relativamente baixo, a possibilidade de instalação próximo à cultura a ser irrigada, a facilidade de operação e a boa estimativa da demanda hídrica das culturas.

Gervásio (1998), trabalhando com desenvolvimento do cafeeiro na fase de formação da lavoura em experimento conduzido em casa de vegetação, constatou que o aumento na umidade do solo acelerou o desenvolvimento de mudas de cafeeiros e que a maior lâmina aplicada, correspondente a 140% da evaporação do tanque “Classe A” (ECA), foi a que promoveu o melhor desenvolvimento. Alves (1999), em experimento conduzido no município de Lavras, MG, verificou que a irrigação proporcionou um maior desenvolvimento das características vegetativas avaliadas, sendo que o tratamento que recebeu

uma lâmina de reposição igual a 100% da ECA foi o que mais se destacou, apresentando maiores médias. Vilella (2001), trabalhou com tratamentos em que foram aplicadas diferentes lâminas de água em cafeeiros irrigados por gotejamento no município de Lavras, MG. Este autor verificou que, para todas as características vegetativas analisadas, o tratamento que proporcionou as maiores médias foi aquele que recebeu a lâmina de água referente a 100% da ECA.

Silva et al. (2002a), com o objetivo de avaliar o efeito da irrigação e fertirrigação no crescimento do cafeeiro, cultivar Acaia Cerrado (MG-1474), testaram cinco diferentes lâminas de reposição (100%, 80%, 60% e 40%) da evaporação do tanque classe "A" (ECA) e sem reposição, e três diferentes parcelamentos de adubação. Com dados de três anos consecutivos e avaliados trimestralmente, os autores concluíram que a irrigação produziu efeitos significativos sobre o seu crescimento, tendo a lâmina de 100% de reposição da ECA que proporcionado maior crescimento. Karasawa (2001) observou que a irrigação influenciou em todas as características de crescimento avaliadas e que a lâmina 120% da ECA foi a que apresentou maior ganho em crescimento quando comparada à testemunha, havendo, porém, uma tendência de estabilidade nas respostas entre os tratamentos 80% e 120% da ECA. Karasawa et al. (2000), observando o efeito de cinco níveis de salinidade da água de irrigação (1,5; 2,0; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) no desenvolvimento de mudas de café em ambiente protegido, verificaram que todas as plantas morreram na ordem decrescente de concentração de sais na água de irrigação e que, a partir de 11,5 dS m<sup>-1</sup> da concentração de sais no solo, nenhuma planta conseguiu sobreviver, o que pode evidenciar que a cultura, em fase de muda, é bem susceptível à salinidade.

## 2.3 Qualidade da água de irrigação

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. Partindo-se do princípio de que toda a água contém sais, mesmo utilizando águas para irrigação que apresentam reduzidas concentrações salinas, existe um certo potencial de salinização em condições de chuvas e/ou drenagem insuficientes. Normalmente, em regiões áridas e semi-áridas, as águas superficiais e subterrâneas apresentam maior concentração salina do que em regiões úmidas e sub úmidas, o que vai se somar ao problema de salinização e sodificação do solo (Medeiros, 1998).

O conceito de qualidade de água refere-se às características que podem afetar as necessidades do usuário, definidas por uma ou mais propriedades físicas, químicas e/ou biológicas. Assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade se produzir melhores resultados. Muito embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida no início do século passado. A desatenção a este aspecto deveu-se à abundância de fontes de água que, no geral, eram de boa qualidade e de fácil utilização. Mas, esta situação está mudando em vários lugares, em função do aumento da demanda por águas de qualidade, restando como alternativa o uso de águas de qualidade inferior (Ayers & Westcot, 1991). Estes mesmos autores, considerando os efeitos de uma irrigação de longo prazo sobre o rendimento e a qualidade da produção agrícola, bem como a mudança no meio ambiente e nas características físico-químicas do solo, classificaram a água em três grupos: sem restrição de uso, com restrição de suave a moderada e restrição severa. Dentre os parâmetros utilizados nesta classificação, destacam-se a salinidade, a sodicidade, a presença de ions tóxicos, os riscos diversos e o pH (Ayers, 1977).

Sob o ponto de vista da agricultura, entre as características mais importantes que qualificam uma água quanto ao uso em irrigação, destacam-se a concentração total de sais solúveis, a concentração relativa de sódio e presença de íons tóxicos. Segundo Contreras & Elezondo (1980), citados por Medeiros (1998), para se determinar a viabilidade do uso de uma determinada água de irrigação, deve-se levar em consideração a concentração e composição química da mesma, a tolerância das culturas aos sais, as propriedades físicas e químicas do solo, as práticas de manejo do solo, água e culturas, as condições climáticas, o método de irrigação e as condições de drenagem.

Normalmente, a salinidade em áreas irrigadas é consequência do uso de água de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-planta. Qualquer que seja sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais, embora a qualidade e a quantidade possam variar bastante (Medeiros & Gheyi, 1994). Oliveira (1997) relata que a prática de irrigação constitui uma das alternativas fundamentais para garantir a produção das áreas cultivadas; no entanto, quando não se tem um manejo adequado da irrigação, a salinidade do solo é inevitável, tornando-os improdutivos em curto espaço de tempo. Este mesmo autor afirma que a salinização induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada taxa de evapotranspiração potencial e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano. A salinidade induzida manifesta-se em decorrência da irrigação praticada nessas áreas, onde o controle da drenagem não é feito ou feito de forma ineficiente. No semi-árido, as maiores incidências de áreas salinizadas com salinização secundária se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados perímetros irrigados.

O índice que expressa a salinidade é a condutividade elétrica (CE). A condutividade elétrica do solo é determinada por meio da saturação de uma amostra de solo com água destilada e posterior filtragem a vácuo. Para tanto, a

extração da solução é realizada com o uso de um funil de Büchner, com papel de filtro de alta retenção, acoplado a um kitasato. Ao volume de líquido filtrado denomina-se extrato de saturação e a condutividade elétrica é chamada de condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ), sendo esta recomendada por Richards (1954) como o método padrão para avaliar a salinidade do solo em relação ao desenvolvimento das plantas.

Os principais solutos encontrados na água de irrigação são os cátions de sódio, cálcio, magnésio e potássio e os ânions cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato, fluoreto e nitrato (Richards, 1954; Christiansen et al., 1977; Ayers, 1977 e Rhoades et al., 1992). Outros constituintes que contribuem para tornar a qualidade da água salina ainda pior incluem B, Sr, Li,  $SiO_2$ , Rb, F, Mo, Mn, Ba, e Al.

Tradicionalmente, a água de irrigação é agrupada em várias classes qualitativas, em função das características acima mencionadas, cujo objetivo é orientar o usuário quanto às vantagens potenciais e os problemas associados ao seu uso. Ao longo dos anos, vários modelos de classificação de água de irrigação vêm sendo propostos. Rhoades (1972), afirma que é impossível definir um padrão de ampla aplicação para a qualidade de água de irrigação, advertindo que a classificação deve ser feita para cada condição específica de clima, solo e cultura, conforme o método e manejo da irrigação.

A classificação proposta pelos técnicos do Laboratório Americano de Salinidade é a mais utilizada no Brasil para classificar as águas destinadas à irrigação. De acordo com Ayers & Westcot (1991), tal classificação baseia-se geralmente na condutividade elétrica (CE), que indica o perigo de salinidade e na razão de adsorção de sódio (RAS) como indicador de sodicidade. As águas dividem-se em quatro classes, de acordo com a concentração total de sais solúveis ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$ ), cada qual representando condutividades elétricas de 0-0,25; 0,25-0,75; 0,75-2,25; 2,25-5,00  $dS\ m^{-1}$ , respectivamente. De acordo com a

acumulação de sódio, as águas são divididas em 4 classes ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_4$ ) correspondendo à razão de adsorção de sódio menor que 18,67-4,44 logCE; entre 18,67-4,44 logCE e 31,31-6,66 logCE; entre 31,31-6,66 logCE e 43,75-8,87 logCE; e maior que 43,75-8,87 logCE.

Medeiros (1992) e Audry & Suassuna (1995), estudando a qualidade das águas usadas na irrigação de 95 pequenas propriedades localizadas em Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, nos anos de 1988 a 1992, concluíram que as águas destes estados apresentavam composição química semelhante, sendo predominantemente cloretadas e sódicas, com CE entre 0,25 a 1,5 dS  $m^{-1}$ , em aproximadamente 78% das águas analisadas. Em relação ao magnésio e ao cálcio, as concentrações foram praticamente as mesmas.

## **2.4 Efeitos da salinidade para as culturas e salinização do solo**

As plantas em ambientes com alta concentração de sais podem sofrer estresse de duas maneiras: em razão da baixa disponibilidade de água no solo, em consequência da diminuição do potencial osmótico na zona radicular, devido a grandes quantidades de sais na solução do solo, e pelo efeito tóxico de altas concentrações de íons específicos (Moura, 2000). As plantas extraem água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo (Ayers & Westcot, 1991). A energia gasta pela planta para absorver água em um solo salino é superior àquela para absorver água de uma solução sem sais. De acordo com Maas & Hoffman (1977), o efeito acumulativo dos sais no solo faz com que a disponibilidade de água para a cultura diminua à medida que a salinidade aumenta. Por isso, os efeitos da salinidade e da estiagem são praticamente homólogos e provocam estado de escassez de água na planta e redução no seu crescimento.

De modo geral, de acordo com Maas & Hoffman (1977), a produção vegetal decresce linearmente com o aumento da salinidade do solo a partir de determinado nível de salinidade, denominado “salinidade limiar” da cultura. Medeiros (1998) verificou que a redução na produção da cultura do pimentão em estufa foi da ordem de 14% para o incremento de  $1 \text{ dS m}^{-1}$  na salinidade do solo, acima da salinidade limiar que foi de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ , concordando com a tabela apresentada por Maas & Hoffman (1977).

Além de promover a queda dos rendimentos das culturas pelo efeito osmótico, ou seja, restringindo a absorção de água, com conseqüentes implicações para os processos fisiológicos, a salinidade pode levar à intoxicação das plantas. Isto ocorre devido à presença de íons específicos na água de irrigação que promovem desbalanços nutricionais, pois interferem na cinética de absorção de nutrientes.

Segundo Medeiros (1998), a produção das culturas onde a salinidade está presente pode somente ser completamente avaliada no contexto das características estabelecidas para as condições específicas de campo. Afirmar também que, geralmente, concentrações de sais acumuladas no tecido das plantas acima daquele requerido para as suas funções normais e acima de um dado valor limite, resultará em algum prejuízo para o desenvolvimento e rendimento da planta. Acumulação excessiva de sais na planta pode ser oriunda de altas concentrações de sais na zona radicular e ou da absorção dos sais diretamente pelas folhas, quando a água de irrigação é aplicada por aspersão.

Alguns íons apresentam efeitos tóxicos às plantas, inclusive em concentrações muito inferiores às necessárias para prejudicar os cultivos via efeito osmótico. O mecanismo mediante o qual se produz a toxicidade não é bem conhecido e possivelmente é distinto em cada caso. Parece confirmado que a toxicidade não é devido ao efeito direto dos íons e sim por estes induzirem a alterações no metabolismo, ocasionando o acúmulo de produtos tóxicos. Os

efeitos imediatos da salinidade sobre os vegetais foram resumidos por Araújo (1994), em: a) seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico na solução do solo; b) desbalanceamento nutricional, por causa da elevada concentração iônica, especialmente de sódio, o que inibe a absorção de outros nutrientes; c) efeito tóxico de ions, particularmente cloro e sódio. A tolerância ao estresse salino pode ser consequência do controle na absorção e na alocação de sódio na planta, do reajustamento osmótico e de outros processos metabólicos do vegetal.

Läuchli & Epstein (1990), citados por Lima (1998), relatam que, com o aumento da concentração de sais no solo, o potencial osmótico pode tornar-se tão baixo a ponto de ocorrer a perda de água da planta para o solo, processo conhecido como dessecação osmótica. As plantas halófitas, adaptadas a condições salinas, possuem um mecanismo de absorção e acúmulo de sais do solo no vacúolo celular a fim de reduzir o potencial osmótico interno e, desta maneira, evitar a dessecação osmótica. Portanto, os sais não se misturam com a solução citoplasmática, permanecendo no interior do vacúolo, uma vez que a membrana que separa o citoplasma do vacúolo não permite o fluxo de um compartimento para outro, mesmo que haja elevado gradiente de concentração. Por outro lado, plantas glicófitas ou não-halófitas, quando expostas à salinidade moderada, tendem a excluir o excesso de sais pelas raízes, porém, não são capazes de realizar o ajuste osmótico, o que resulta no estresse hídrico por osmose. Altos níveis de cloreto na solução do solo provocam o aumento da permeabilidade das raízes, resultando na absorção de grandes quantidades de sais. Conseqüentemente, ocorre a deterioração de cloroplastos e clorose foliar, seguida de necrose e morte da planta. De acordo com Läuchli & Epstein (1990), citados por Medeiros (1998), este tipo de injúria é causado pela toxicidade dos ions que, em altas concentrações no citoplasma, danificam enzimas e organelas celulares.

Com relação às espécies vegetais, os efeitos da salinidade e ou da sodicidade são diferentes, variando entre espécies e entre genótipos de uma mesma espécie. Isto ocorre porque algumas espécies produzem rendimentos aceitáveis, em níveis relativamente altos de condutividade elétrica, enquanto outras são sensíveis. Esta diferença deve-se à melhor capacidade de adaptação osmótica de algumas espécies, sendo capazes de absorver e acumular íons e utilizá-los na síntese de compostos orgânicos, além de terem maior capacidade de absorção de água, mesmo em potenciais osmóticos muito baixos. É muito útil essa variabilidade genética entre as plantas, por permitir a seleção de espécies e cultivares mais tolerantes e capazes de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, em condições de salinidade (Ayers & Westcot, 1991).

Segundo Maas & Hoffman, (1977), além de haver diferenças de tolerância entre as espécies e entre cultivares, dentro de uma mesma espécie pode também existir diferenças entre as fases fenológicas. Nesse caso, existem dois aspectos quanto ao mecanismo de tolerância à salinidade. Primeiro, se uma glicófita tolerante à salinidade pode realizar o ajuste osmótico para um meio moderadamente salino, as taxas crescentes de absorção e transporte de íons e, particularmente, a síntese de solutos orgânicos, requerem gastos adicionais de energia, a qual deveria ser utilizada no processo de crescimento. Segundo, o estresse salino é primeiramente sentido pelas raízes, mas o ajuste osmótico, assim como a inibição do crescimento e a toxicidade, são mais perceptíveis na parte aérea da planta. Assim, em adição aos processos celulares, a interação entre o sistema radicular e a parte aérea é parte essencial na resposta da planta à salinidade.

A salinização de solos representa um dos sérios problemas da agricultura em todo o mundo. Tal processo pode ter causas naturais, salinização primária, ou originar-se de um manejo inadequado do solo e da água pela ação do homem, que é chamado de salinização secundária (Oliveira, 1997). O monitoramento da

salinidade do solo, na zona radicular, é essencial à sua avaliação e ao seu controle, particularmente quando as culturas estão se desenvolvendo sob condições de solo salino ou sendo irrigadas com água salina. A salinidade do solo pode aumentar consideravelmente em apenas uma estação de crescimento, quando se usa água de elevada salinidade na irrigação, especialmente se não ocorrem chuvas nesse período.

A salinidade, ou sodicidade do solo, pode ser avaliada de diversas maneiras, mas, para se aplicar e interpretar os dados de um solo em relação a outro, é necessário seguir um procedimento padrão. Segundo Silva (2002), a determinação da condutividade elétrica pode ser feita em soluções de solo a diversos níveis de umidade, todavia a quantificação da condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ) é mais evidenciada na literatura. Ela é recomendada por Richards (1954) como o método padrão para avaliar a salinidade do solo em relação ao desenvolvimento das plantas.

No contexto agrícola, um solo é considerado salino quando a  $CE_{es}$ , sob temperatura de 25°C excede 4 dS m<sup>-1</sup> e a percentagem de sódio trocável (PST) e o pH do solo são menores que 15 e 8,5, respectivamente. Quando o pH é menor que 8,5 e PST e a  $CE_{es}$  excedem os valores de 15 e 4 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, o solo é classificado como salino-sódico. Se a PST e o pH excedem os valores de 15 e 8,5, respectivamente, e a  $CE_{es}$  é inferior a 4 dS m<sup>-1</sup>, o solo é classificado como sódico (Richards, 1954 e Christiansen et al., 1977).

Segundo Queiroz et al. (1997), para preparação da pasta de saturação, há necessidade de um bom treinamento e de certas precauções com a textura do solo. Para este autor, diferentes relações solo:água são também utilizadas para determinação da CE de um solo, de forma rápida e eficiente (por exemplo 1:1, 1:2 e 1:5). Porém, a segurança das determinações depende do solo e dos sais nele presentes. Experiências bem sucedidas vêm sendo realizadas com os métodos do extrato 1:1; 1:2,5 ou 1:5 (Pereira et al., 1981), mas, em algumas

condições o excesso de diluição poderá promover a solubilização de certos sais de baixa solubilidade (Richards, 1954).

Enquanto para outras culturas são encontradas várias referências relatando os efeitos de qualidade de água e de salinidade do solo sobre o rendimento, poucos, ou quase nenhum, trabalhos têm dado importância ao cafeeiro. Matiello (1999), trabalhando com irrigação por gotejamento em cafeeiro, observou que mesmo as plantas jovens agüentam bem a salinidade, desde que a água não seja excessivamente salina, até  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  e que, em determinados períodos no ano, apresente uma boa distribuição das chuvas.

## **2.5 Produtividade do cafeeiro**

De acordo com dados do Agrianual (2003), o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, com 2,3 milhões de hectares de área cultivada. Dentre os estados produtores de café no Brasil, Minas Gerais participa com mais de 46% da produção nacional, Espírito Santo com 23%, São Paulo com 9,7%, Rondônia com 7,1%, Paraná com 5,5% e Bahia com 4,55%, ficando o restante para os outros estados. A produtividade média regular, em 2002, ficou em torno de 21 sacas beneficiadas por hectare. Naquele ano, o Brasil colheu sua safra histórica de 48,5 milhões de sacas e registrou um novo recorde na exportação de café, com 27 milhões de sacas, gerando uma receita cambial em torno de US\$ 1,38 bilhão. Mesmo assim, não foi um ano bom de rentabilidade, devido ao baixo preço do produto no mercado. Do total da safra nacional, 25,1 milhões de sacas foram produzidas no estado de Minas Gerais, das quais 20 milhões na região Sul/Oeste/Zona da Mata com uma produtividade média de 21 sacas/ha. O restante da safra foi produzido na região do Cerrado Mineiro, com uma produtividade média de 29 sacas/ha.

Vários estudos com culturas em formação e implantadas com irrigação comprovam efeitos significativos sobre a produtividade. Os dados anteriores sobre produtividade média na região do Cerrado Mineiro mostram estes efeitos. Nos últimos sete anos, a área plantada de café irrigado no oeste da Bahia saltou de 6 mil hectares, em 1996, para 12,6 mil, em 2002, segundo dados da Associação de Agricultores e Irrigantes do Oeste da Bahia (AIBA), espalhados pelos municípios de Luiz Eduardo Magalhães (antigo Mimoso), Cocos e Barreiras, regiões com vocação também para o cultivo de frutas (irrigadas) e grãos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2002). O potencial para o desenvolvimento da cafeicultura irrigada na Bahia é de 100 mil hectares, calcula a AIBA, obtendo uma média de cerca de 65 sacas/ha, deixando o estado em quarto lugar na previsão de produção, ultrapassando Rondônia e Paraná (Ministério da Agricultura e Abastecimento - MAPA, 2003).

Vilella (2001) relatou que a produtividade regular de uma lavoura de café no Brasil fica entre 10 e 20 sacas/ha, enquanto para cafezais irrigados este valor era geralmente superior a 50 sacas/ha. Alves (1999) verificou um considerável aumento na produtividade dos cafeeiros irrigados o ano todo, quando comparados aos não irrigados; o tratamento que aplicou a lâmina de água equivalente a 100% da ECA apresentou aumento da produtividade da ordem de 53,9% em relação ao não irrigado, produzindo 72 sacas/ha. Antunes et al. (2000), em pesquisa desenvolvida em Rio Preto, MG, com cafeeiros "Catuai", constataram aumento de produtividade para os cafeeiros irrigados, da ordem de 66% na safra de 2000, quando comparados aos não irrigados, e da ordem de 123% para os cafeeiros irrigados e fertirrigados, quando comparados com os não irrigados.

Vilella (2001), analisando as duas primeiras safras em cafeeiros irrigados no município de Lavras, MG (1999 e 2000), obteve um aumento de produção da ordem de 93,12%, comparando o tratamento em que foi aplicada uma lâmina de

água de 100% da ECA com o não irrigado. Soares et al. (2001), em experimento onde se aplicaram tratamentos irrigados e não irrigados, verificaram que os tratamentos irrigados produziram, em média, 79 sacas/ha, correspondendo a um aumento de 64% em relação ao não irrigado. Karasawa (2001) verificou que a produtividade foi intensamente influenciada pela irrigação, sendo que os tratamentos irrigados o ano todo produziram, em média, mais do que os tratamentos irrigados em determinadas épocas do ano.

Vicente et al. (2002) observaram, nos tratamentos irrigados por gotejamento, tanto superficial quanto subsuperficial, uma produção média 107% maior que os não irrigados, após a primeira colheita em experimento com cafeeiros da variedade Catuaí IAC 144 na região de Patrocínio, MG. Martins et al. (2002) trabalhando com tratamentos de lâminas de água em irrigação sob pivô central, verificaram, nas duas primeiras safras, que o tratamento que obteve uma maior média de produção foi o que recebeu a reposição de 60% da ECA, com 71 sacas/ha a mais que o não irrigado e também que todos os tratamentos de irrigação retardaram a maturação dos frutos. Silva et al. (2002b), com o objetivo de avaliar o efeito da irrigação na produtividade do cafeeiro, testaram cinco diferentes lâminas de reposição, 100%, 80%, 60% e 40% da evaporação do tanque classe "A" (ECA) e sem reposição. Concluíram, com dados de 3 anos consecutivos, que a irrigação promoveu uma maior produtividade do cafeeiro Acaiaí Cerrado (MG-1474) e a lâmina mais indicada tem sido de 100% de reposição da ECA, com um incremento médio da ordem de 74,63% em relação à testemunha.

Mesmo regiões tradicionalmente e climaticamente aptas para o cultivo do café, como o Sul de Minas, têm necessitado de irrigação suplementar. De acordo com Faria & Rezende (1998), nestas regiões o cultivo do café vem sofrendo o efeito da estiagem justamente nos períodos críticos de demanda de

água pelas plantas, comprometendo a produtividade, principalmente por atuarem na fase de expansão dos grãos.

O cultivo do cafeeiro nas regiões de Cerrados é uma realidade, expondo esta cultura a uma nova situação, ou seja, a perspectiva desta ser submetida a condições de estresse salino, induzido pelo enriquecimento do solo com sais solúveis presentes na água de irrigação, associados ou não a solos com propensão à salinização. Sendo assim, percebe-se a falta de trabalhos relacionados a cultivo do cafeeiro nestas regiões marginais, principalmente quanto ao surgimento de problemas que poderão tomar grandes dimensões, afetando diretamente a produtividade da cultura.

Algumas dessas áreas, porém, estão submetidas a alguns fatores limitantes. Destacam-se os problemas relacionados à salinidade, principalmente nas áreas do Nordeste do Brasil, que possuem climas e condições favoráveis e cuja produção somente é viável mediante irrigação. Segundo Rhoades et al. (1992), o uso da irrigação tem contribuído significativamente para o aumento da produtividade agrícola, além da incorporação ao sistema produtivo de áreas cujo potencial para exploração da agricultura é limitado, em razão de seus regimes pluviais. Por outro lado, o uso inadequado da água salina e ou sódica resulta na perda da capacidade produtiva do solo, provocando alterações nas propriedades físico-químicas, principalmente quando a atividade do íon sódio em relação aos íons de cálcio e magnésio é preponderante.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Localização e clima

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada próximo ao Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. O município de Lavras situa-se a 21°15' latitude sul e 45°00' longitude oeste, localizado na região sul do estado de Minas Gerais, com altitude de 918 m. O clima da região é do grupo CWb, de acordo com a classificação climática de Köppen, isto é, temperado com inverno seco e verão úmido, com chuvas irregularmente distribuídas ao longo do ano.

As médias de temperatura e precipitação de todos os meses são maiores que 15°C e 16 mm, respectivamente. Cerca de 66% da precipitação ocorrem no período de novembro a fevereiro, quando são anotadas as maiores temperaturas médias mensais e o déficit hídrico é percebido no período de abril a agosto (Villela & Ramalho, 1979).

### 3.2 Cultura

A cultura utilizada foi o cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuai. Segundo Guimarães et al. (2002), esta cultivar tem porte baixo, com altura entre 2,0 e 2,4 metros, diâmetro de copa entre 1,7 e 2,1 metros, internódios curtos, ramificação secundária abundante e frutos de maturação média a tardia. É uma das cultivares mais plantadas no país e, em condições normais, já produz muito nos dois primeiros anos de colheita. Tem ampla capacidade de adaptação, por se adequar às modernas técnicas empregadas na cafeicultura brasileira, mostrando-

se promissora por responder progressivamente ao emprego de alta tecnologia de produção, com altas produções na maioria das regiões cafeeiras (Thomaziello et al., 2000).

### **3.3 Descrição das estruturas experimentais**

O experimento foi instalado no interior de uma casa de vegetação modelo "Arco" de 52 m<sup>2</sup> (8,0 x 6,5 m), com estrutura metálica, coberta com polietileno transparente de baixa densidade (PEBD) possuindo 0,15 mm de espessura e transmissividade média de 60%, de acordo com o fabricante. Em seu interior, o chão é cimentado; o perímetro da casa de vegetação apresenta paredes de tijolos até uma altura de 0,5 m, na qual está apoiada a estrutura metálica; o pé direito é de 2,20 m. A casa de vegetação contém um exaustor frontal, que permite a redução da temperatura no interior da casa de vegetação devido ao acúmulo de calor na parte superior.

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com volume de 13 litros utilizando-se de uma planta por vaso, os quais foram colocados sobre tijolos, buscando-se evitar qualquer contaminação ou interferência pelo chão de cimento.

### **3.4 Características químicas e físico-hídricas do solo**

O solo utilizado no experimento foi coletado nas proximidades do município de Itumirim, MG, no dia 20 de agosto de 2001, seco ao ar e à sombra, destorroado e passado na peneira de 2,0 mm (terra fina seca ao ar – TFSA). Na Tabela 1, encontra-se o resultado da análise química e granulométrica, que foi

realizada no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. O motivo pelo qual se escolheu um solo de textura média, foi pelo fato deste tipo de solo possuir uma menor capacidade de adsorção dos íons na matriz do solo em relação a solos argilosos, deixando os íons mais disponíveis a serem absorvidos pelas plantas. Na mesma Tabela, também se encontra a salinidade inicial do solo, a qual foi determinada no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, expresso em  $CE_{es}$  (condutividade elétrica do extrato de saturação) a 25°C, de acordo Richards (1954).

TABELA 1 Granulometria média e classe textural do solo, resultados da análise química do solo e condutividade elétrica do extrato de saturação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Granulometria (dag/kg)				Classe textural	CE <sub>es</sub>		
Areia	silte	Argila	(dS m <sup>-1</sup> )				
71	5	24	Textura média		1,05		
PH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	T
(H <sub>2</sub> O)	(mg dm <sup>-3</sup> )			(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
5,4	0,6	30	1,8	0,6	0,2	0,2	2,8
P-rem	Zn	Mn	Cu	B	S	ISNa	V
(mg L <sup>-1</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )				(%)		
17,8	3,1	4,1	0,9	0,2	6,6	0,72	31,9

pH em água, relação 1:2,5; P, K e Na, extrator de Mehlich 1; Ca, Mg Al, extrator: KCL 1N; CTC (T) capacidade de troca catiônica a pH 7,0; P-rem = fósforo remanescente; V = índice de saturação de bases; ISNa = índice de saturação de sódio.

### 3.4.1 “Densidade” aparente do solo

A determinação da “densidade” aparente ou global foi realizada utilizando o método do cilindro de Umland (cilindro amostrador) de volume conhecido, em quatro vasos adicionais. Para tal, a colocação da terra nestes vasos foi a mesma para todos os demais vasos e realizada em camadas iguais de volume conhecido, objetivando desta maneira uma densidade semelhante em todos os vasos. A “densidade” aparente média encontrada nos quatro vasos adicionais foi de  $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo esta a utilizada no experimento.

### 3.4.2 Curva de retenção de água no solo

A obtenção da curva de retenção de água no solo foi realizada em amostras deformadas. Para as tensões de 2, 4, 6, 8 e 10 kPa foi utilizado o método do funil de placa porosa (funil de Haines) e, para tensões de 33, 100, 500 e 1500 kPa, a câmara de pressão de Richards. Os dados de umidade ( $\text{g g}^{-1}$ ) e tensão ou potencial mátrico (kPa) foram ajustados de acordo com a metodologia proposta por Van Genuchten (1980), pela qual a umidade do solo pode ser descrita pela Equação 1.

$$U(h) = U_r + \frac{(U_s - U_r)}{\left[1 - (\alpha h)^n\right]^m} \quad (1)$$

sendo:

$U(h)$  – umidade do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ) para um dado valor de  $h$ ;

$U_r$  – umidade residual do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ), obtido pelo modelo por extrapolação;

$U_s$  – umidade de saturação do solo ( $\text{g g}^{-1}$ );

$\alpha$ ,  $n$  e  $m$  – parâmetros de ajuste do modelo;

$h$  – módulo potencial mátrico (kPa).

Os parâmetros desta equação encontram-se na Tabela 2. A Figura 1 apresenta a curva característica do solo. Utilizou-se o software Soil Water Retention Curve – SWRC: versão 3.00 beta (Dourado Neto et al., 2001) para calcular os parâmetros da equação de ajuste de Van Genuchten.

TABELA 2 Parâmetros da equação de retenção de água do solo. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Parâmetros					$r_{aj}^2$
$\alpha$	$U_s$	$U_r$	$n$	$m$	
0,4770	0,495	0,091	2,3160	0,5682	0,997

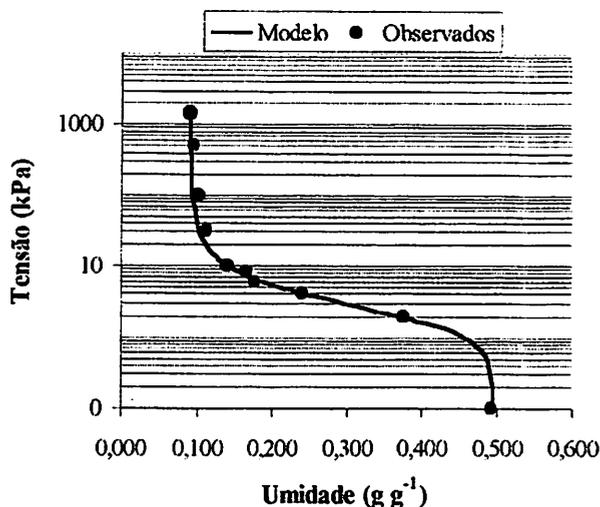


FIGURA 1 Curva de retenção de água do solo. UFLA, Lavras, MG, 2003.

### 3.5 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições e seis tratamentos. Os tratamentos foram compostos da aplicação de lâminas de irrigação com diferentes níveis de salinidade da água

para a cultura do cafeeiro (testemunha  $S_0=0,0 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $S_1=0,6 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $S_2=1,2 \text{ dS m}^{-1}$ ;  $S_3=1,8 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $S_4=2,4 \text{ dS m}^{-1}$  e  $S_5=3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Para a testemunha foi utilizada a água destilada, enquanto os outros níveis foram produzidos pela adição do NaCl à água de torneira. Estes níveis de salinidade da água foram dispostos de modo a se enquadrar dentro das quatro classes ( $0-0,25$ ;  $0,25-0,75$ ;  $0,75-2,25$  e  $2,25-5 \text{ dS m}^{-1}$ ) como proposto pela classificação do Laboratório Americano de Salinidade para as águas destinadas a irrigação (Ayers, 1977; Christiansen et al., 1977; Maas & Hoffman, 1977; Richards, 1954; Rhoades, 1972 e Suarez, 1981) e da classificação proposta por Ayers & Westcot (1991).

As unidades experimentais (parcelas) foram constituídas de três plantas, isto é, três vasos com capacidade de 13 litros de solo com uma planta por vaso, num total de 72 plantas.

### **3.6 Preparo da água e controle das irrigações**

As salinidades das águas de irrigação foram produzidas com base na curva apresentada na Figura 2. O sal utilizado, quimicamente puro e solúvel em água, foi o cloreto de sódio (NaCl).

Esta curva foi preparada com soluções do NaCl nas concentrações de 100, 90, 80, 70, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 8, 6, 4 e 2 meq  $\text{L}^{-1}$ , utilizando-se água natural de torneira, com condutividade elétrica de  $0,09 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , em três repetições. Depois de preparadas, fizeram-se as leituras de condutividade elétrica das soluções obtendo-se a curva que representasse a variação da concentração do sal versus a condutividade elétrica e que foi utilizada na determinação das quantidades de sal necessárias para produzir as águas com os níveis de salinidade desejados para a irrigação.

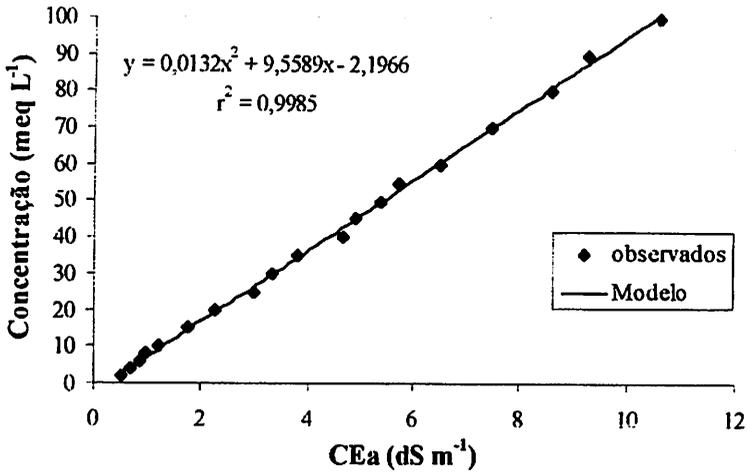


FIGURA 2 Relação entre a concentração do NaCl (meq L<sup>-1</sup>) da solução preparada e a condutividade elétrica da água (CE<sub>a</sub>) obtida. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Utilizaram-se blocos de resistência elétrica, instalados a 0,13 m de profundidade próximo a planta na região central do vaso para monitorar a tensão de água no solo, em três repetições e com base na curva característica de retenção de água no solo, determinava-se a umidade do solo. A reposição d'água era realizada quando a tensão média de água no solo atingia 12 kPa, elevando-a a umidade do solo correspondente à tensão na capacidade de campo do vaso, de acordo com a Equação 2. Para determinar a capacidade de campo do vaso, foi realizado um ensaio em quatro vasos adicionais, dentro do experimento. Para tal, saturou-se o solo e determinaram-se leituras de tensão por tensiômetros de mercúrio após se verificar o cessamento da drenagem livre, o que ocorreu 48 horas depois da saturação. Os vasos foram isolados por plástico evitando-se as perdas por evaporação e foi colocada uma camada de 3 cm de cascalho fino para facilitar a drenagem, evitando a saturação no fundo do vaso. A tensão na capacidade de campo encontrada para este solo foi de 5 kPa.

$$V = (U_{cc} - U_{12kPa}) \cdot Dg \cdot V_v \quad (2)$$

em que:

$V$  = volume d'água a ser aplicado (litros);

$U_{cc}$  = umidade do solo na capacidade de campo ( $g\ g^{-1}$ );

$U_{12kPa}$  = umidade do solo a tensão de 12 kPa ( $g\ g^{-1}$ );

$Dg$  = densidade global ( $g\ cm^{-3}$ );

$V_v$  = volume do vaso (litros).

O volume de água em cada irrigação foi aplicado com o uso de proveta graduada (precisão de 2 mL) e calculado de acordo com a média da leitura da tensão do solo a partir de 3 plantas testemunhas, de modo que a reposição da água foi igual para todas as plantas. Estas leituras foram acompanhadas por uma bateria de três tensiômetros de mercúrio em outros três vasos da testemunha, procurando o melhor ajuste, evitando deste modo erros pelo fato de os blocos de resistência estarem trabalhando a tensões muito baixas.

$$H = \frac{10,2 \cdot T_s + h_1 + h_2}{12,6} \quad (3)$$

em que:

$H$  = leitura da coluna de mercúrio, em cm;

$T_s$  = tensão da água no solo, em kPa;

$h_1$  = altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo, em cm;

$h_2$  = profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.

As leituras dos tensiômetros foram realizadas diariamente pela manhã entre 7:00 e 8:30 h e à tarde entre 16:00 e 18:30 h, onde foram obtidas as médias dos potenciais nas parcelas testemunhas. Para os tensiômetros de mercúrio

### **3.8.1 Características relacionadas à planta**

A coleta dos dados de altura da planta, área foliar e diâmetro do caule foi realizada no início do experimento e aos 16, 37, 57, 78, 102, 125, 145 e 163 dias após o estabelecimento da cultura (DAE). Para cada característica, os seguintes procedimentos foram utilizados:

#### **3.8.1.1 Altura da planta e diâmetro do caule**

A determinação da altura foi realizada com fita métrica medindo-se do colo da planta ao seu meristema apical desde a constatação do pegamento das mudas nos vasos.

A determinação do diâmetro do caule foi realizado 1 cm acima do solo na região do colo da planta, utilizando-se um paquímetro de precisão de 0,02mm.

#### **3.8.1.2 Área foliar**

A área foliar foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Barros et al. (1973), que usam a equação “ $y = 0,667x$ ”, em que “y” é a área foliar e “x” a área do retângulo circunscrito à folha, isto é, área correspondente ao produto do maior comprimento pela maior largura da folha. Esta determinação foi realizada em todas as plantas no experimento, sendo medido o comprimento e a largura de uma folha em cada par de folhas da planta, considerando a simetria foliar inerente à cultura, multiplicando-se este resultado por dois para obtenção da área foliar total de cada planta.

$$V = (U_{cc} - U_{12kPa}) \cdot Dg \cdot V_v \quad (2)$$

em que:

$V$  = volume d'água a ser aplicado (litros);

$U_{cc}$  = umidade do solo na capacidade de campo ( $g\ g^{-1}$ );

$U_{12kPa}$  = umidade do solo a tensão de 12 kPa ( $g\ g^{-1}$ );

$Dg$  = densidade global ( $g\ cm^{-3}$ );

$V_v$  = volume do vaso (litros).

O volume de água em cada irrigação foi aplicado com o uso de proveta graduada (precisão de 2 mL) e calculado de acordo com a média da leitura da tensão do solo a partir de 3 plantas testemunhas, de modo que a reposição da água foi igual para todas as plantas. Estas leituras foram acompanhadas por uma bateria de três tensiômetros de mercúrio em outros três vasos da testemunha, procurando o melhor ajuste, evitando deste modo erros pelo fato de os blocos de resistência estarem trabalhando a tensões muito baixas.

$$H = \frac{10,2 \cdot T_s + h_1 + h_2}{12,6} \quad (3)$$

em que:

$H$  = leitura da coluna de mercúrio, em cm;

$T_s$  = tensão da água no solo, em kPa;

$h_1$  = altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo, em cm;

$h_2$  = profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.

As leituras dos tensiômetros foram realizadas diariamente pela manhã entre 7:00 e 8:30 h e à tarde entre 16:00 e 18:30 h, onde foram obtidas as médias dos potenciais nas parcelas testemunhas. Para os tensiômetros de mercúrio

utilizou-se da Equação 3 que fornece a coluna de mercúrio para a tensão correspondente à tensão de reposição.

### **3.7 Condução do experimento**

A condução do experimento ocorreu sem maiores problemas durante todo o período, desde a instalação até o corte das plantas, aos 163 dias. A seguir serão mostrados os procedimentos utilizados neste período.

#### **3.7.1 Tratamento e correção do solo**

Foi realizada a desinfecção do solo com brometo de metila três meses antes do transplante das mudas para os vasos. Com os dados das análises químicas do solo (Tabela 1), decidiu-se que a necessidade de calagem seria suprida com o próprio Ca (cálcio) junto com a adubação de plantio. Deste modo, a adubação de plantio constituiu-se de 100 ppm de Ca, 25 ppm de Mg, 100 ppm de K , 150 ppm de N, 300 ppm de P, 0,5 ppm de Cu, 5 ppm de Zn, 0,1 ppm de Mo, 0,5 ppm de B e 50 ppm de S, seguindo a recomendação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

#### **3.7.2 Plantio**

As mudas foram obtidas com 4 a 5 meses de cultivo em viveiro apresentando 2 a 3 pares de folhas, já conduzidas de forma a serem levadas ao plantio no campo. Escolheram-se mudas uniformes retirando-se aquelas com qualquer tipo de irregularidade. O transplante das mudas para os vasos foi

realizado no dia 11/12/2002, conduzido por um período de 10 dias apenas com reposição d'água destilada, quando se verificou o aparecimento de novas folhas, alcançando assim o estabelecimento das mudas. Dessa forma, após o pegamento das mudas no vaso, iniciou-se a condução do experimento aos 21/12/2002, data em que os tratamentos começaram a serem aplicados.

### **3.7.3 Condução das plantas**

O expurgo do solo realizado com o brometo de metila foi suficiente para promover o controle das ervas daninhas, ficando apenas o monitoramento com controle manual à medida que surgiam.

As mudas foram tratadas com hidróxido de cobre 15 dias após o plantio devido à ocorrência de doenças de viveiro, como cercospora. O estado fitossanitário da cultura durante todo experimento foi tido como bom. Apenas aos 60 dias, aproximadamente, verificou-se a incidência do bicho mineiro. O controle foi feito com o inseticida Ethion 500 por ocasião do surgimento e, após 30 dias da primeira aplicação, eliminando totalmente esta pequena incidência.

### **3.8 Características avaliadas**

As avaliações foram realizadas durante um período de 163 dias de cultivo em casa de vegetação, contabilizados a partir do pegamento das plantas nos vasos. Foram avaliadas as seguintes características:

### **3.8.1 Características relacionadas à planta**

A coleta dos dados de altura da planta, área foliar e diâmetro do caule foi realizada no início do experimento e aos 16, 37, 57, 78, 102, 125, 145 e 163 dias após o estabelecimento da cultura (DAE). Para cada característica, os seguintes procedimentos foram utilizados:

#### **3.8.1.1 Altura da planta e diâmetro do caule**

A determinação da altura foi realizada com fita métrica medindo-se do colo da planta ao seu meristema apical desde a constatação do pegamento das mudas nos vasos.

A determinação do diâmetro do caule foi realizado 1 cm acima do solo na região do colo da planta, utilizando-se um paquímetro de precisão de 0,02mm.

#### **3.8.1.2 Área foliar**

A área foliar foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Barros et al. (1973), que usam a equação “ $y = 0,667x$ ”, em que “y” é a área foliar e “x” a área do retângulo circunscrito à folha, isto é, área correspondente ao produto do maior comprimento pela maior largura da folha. Esta determinação foi realizada em todas as plantas no experimento, sendo medido o comprimento e a largura de uma folha em cada par de folhas da planta, considerando a simetria foliar inerente à cultura, multiplicando-se este resultado por dois para obtenção da área foliar total de cada planta.

### 3.8.1.3 Análises foliares

Ao final do experimento foram coletadas seis amostras com cinquenta folhas cada, representando cada tratamento para determinação da concentração de macro e micronutrientes e Na (sódio).

### 3.8.1.4 Produção de massa fresca e seca

Ao final do experimento procedeu-se o corte das plantas, em que se separaram folhas, ramos mais caule e colocando-as imediatamente em sacos plásticos com a finalidade de evitar perdas por transpiração. Fez-se, então, em balança de precisão, a pesagem da massa fresca destes materiais. A massa fresca das raízes foi determinada após a separação da terra por meio do processo de lavagem sobre peneira de arame com malha de 2,0 mm e sob jato de água corrente. Posteriormente, esses materiais foram secos em estufa a 70°C até atingirem peso constante e, em seguida, pesados em balança de precisão determinando-se a massa seca de folhas, ramos mais caule e raízes. Para a massa seca das folhas foram juntadas as folhas secas caídas na superfície do solo, as quais haviam sido coletadas semanalmente e devidamente guardadas. De posse destes dados, pôde-se estabelecer as relações raiz/parte aérea da planta em proporção de massa fresca e seca. O teor de massa seca da parte aérea (TMSA) foi calculado utilizando-se a Equação 4.

$$TMSA = \frac{MSPA}{MFPA} \cdot 100 \quad (4)$$

em que:

MSPA = soma da massa seca do ramo mais caule e das folhas;

MFPA = soma da massa fresca do ramo mais caule e das folhas.

### 3.8.2 Características relacionadas ao solo

Foram realizadas coletas de solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm para determinação da evolução da salinidade do solo ao longo do experimento, com o auxílio de um trado próprio para instalação de tensiômetros. Estas coletas foram realizadas nas mesmas épocas que as outras características (DAE). As medições foram realizadas segundo os padrões do U.S. Salinity Laboratory Staff, apresentados por Richards (1954), sendo a salinidade expressa como a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ( $CE_{es}$ ) em  $dS\ m^{-1}$  a  $25^{\circ}C$ .

A salinidade do solo (condutividade elétrica do extrato de saturação- $CE_{es}$ ) foi estimada aplicando-se a Equação 5, a partir da  $CE_{1:5}$ , medida no sobrenadante obtido numa mistura de uma parte de solo para cinco de água destilada, seguindo a metodologia descrita em Slavich & Petterson (1993) e realizada também por Lima (1998).

$$CE_{es}=10,886 \cdot CE_{1:5}-0,2661 \quad (5)$$

Para determinação desta equação, foi realizada em laboratório a incubação do solo já adubado, seco ao ar e passado em peneira de 2,0 mm. Para incubação foi utilizado o sal NaCl nas concentrações de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60, 80 e 100  $mmol_c\ kg^{-1}$ , utilizando, para cada concentração, 1 kg de solo. Depois de dez dias incubado, quando a umidade do solo permaneceu na capacidade de campo, as amostras nestas concentrações foram analisados em quatro repetições com relação a  $CE_{es}$  e  $CE_{1:5}$ . A Figura 3 apresenta os dados da  $CE_{es}$  à temperatura de  $25^{\circ}C$  em função das concentrações de NaCl. A metodologia de determinação da  $CE_{1:5}$  seguiu o procedimento descrito por Slavich & Petterson (1993), no qual coloca-se em “becker” dez gramas do solo previamente incubado seco ao ar, adicionando-se 50 mL de água destilada e agitando-se a mistura três vezes por 30 segundos com intervalos de 30 minutos.

A solução é deixada em descanso por um período de 24 horas para decantação das partículas de solo e a leitura da condutividade elétrica (CE) feita com a célula do condutivímetro colocada na suspensão solo/água, sempre com referência a temperatura de 25°C.

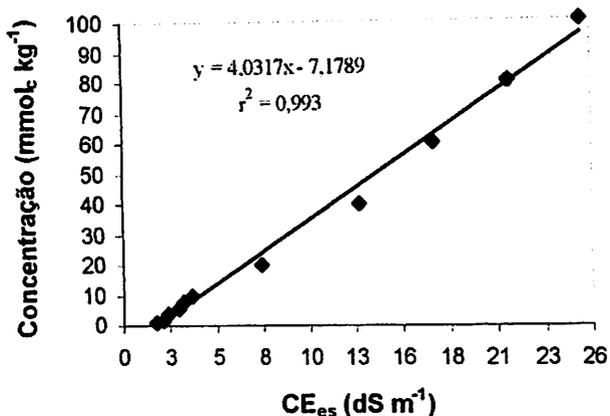


FIGURA 3 Concentrações de NaCl em função da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE<sub>es</sub>). UFLA, Lavras, MG, 2003.

A pasta de saturação foi preparada segundo o método padrão de Richards (1954), constituindo-se da agitação, com uma espátula, de 200 g de terra fina seca ao ar (TFSA) da amostra de solo previamente incubado, procedendo-se a adição gradual de água destilada até que a mesma apresente as características desejadas, tais como: superfície brilhosa, movimento lento em posição inclinada e fácil deslizamento sobre a espátula. Essa pasta era mantida em repouso durante 24 horas e, após este período, retirava-se o extrato com o auxílio da bomba de vácuo, sendo, em seguida, realizada a leitura da CE à temperatura de 25°C. Utilizou-se o condutivímetro da marca Hanna modelo HI8733 para leituras de CEs. A Figura 4 apresenta a relação de CE<sub>es</sub> e CE<sub>1.5</sub>. A escolha da determinação da CE<sub>es</sub> estimada pelas medidas de CE<sub>1.5</sub> devem-se ao pequeno volume de solo que se poderia coletar nos vasos, em todos os períodos

pré-estabelecidos de 20 dias, seguindo o recomendado por Richards (1954). A Figura 5 mostra a relação entre as  $CE_{es}$  medidas e as estimadas pela Equação 5. Observa-se um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) bastante elevado, o que indica um ótimo ajustamento para o intervalo considerado.

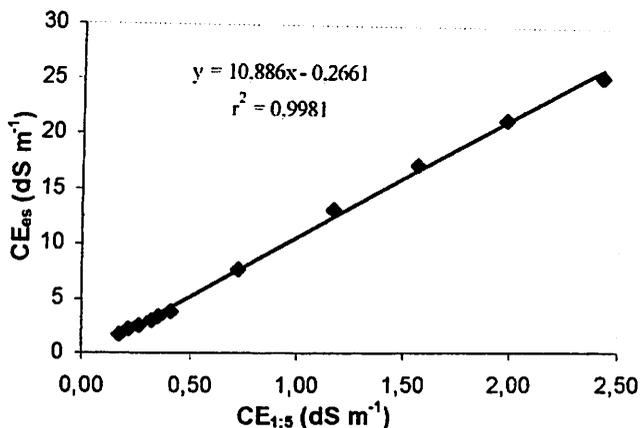


FIGURA 4 Relação entre a condutividade elétrica da solução de 1:5 ( $CE_{1:5}$ ) e a  $CE_{es}$ . UFLA, Lavras, MG, 2003.

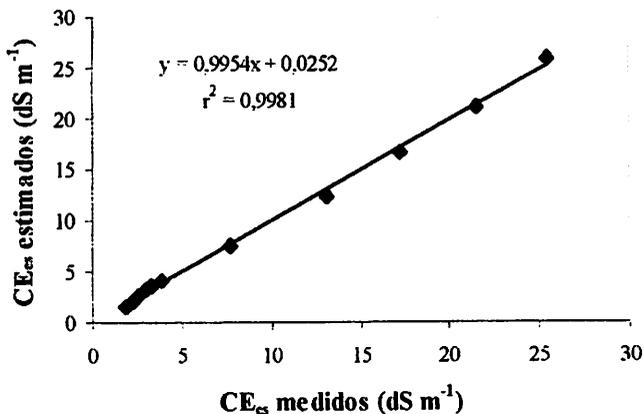


FIGURA 5 Relação entre a  $CE_{es}$  medidos e estimados. UFLA, Lavras, MG, 2003.

### **3.8.3 Características climáticas dentro da casa de vegetação**

Foi instalada, dentro da casa de vegetação, uma estação meteorológica da marca Davis, modelo Weather Monitor II, com sensores para medir a temperatura e umidade relativa do ar, além da pressão atmosférica. A temperatura do solo foi monitorada por um sensor termopar de leitura digital de cobre e constantan, para se fazer as correções necessárias nas leituras dos blocos de resistência.

### **3.9 Análises estatísticas dos dados**

Para as características como área foliar, altura, diâmetro e salinidade do solo, os tratamentos foram dispostos num esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os seis tratamentos e nas subparcelas os tempos avaliados 0, 16, 37, 57, 78, 102, 125, 145 e 163 DAE. Para as características coletadas ao final do experimento, como massa seca e verde e teores de macro e micronutrientes, os tratamentos foram dispostos num esquema de delineamento simples inteiramente casualizado tendo como única fonte de variação os tratamentos. Para os dois casos, os dados foram interpretados por meio de análise de variância e da regressão, sendo os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível de 1% de probabilidade e nos coeficientes de determinação,  $r^2$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características climáticas

As temperaturas máximas e mínimas e as umidades relativas máximas e mínimas, estão apresentadas nas Figuras 6 e 7, respectivamente. As temperaturas máximas atingidas no interior da casa de vegetação ficaram entre 44°C e 27°C com média máxima de 36°C, enquanto as temperaturas mínimas atingidas no mesmo período ficaram entre 24°C e 7°C com média mínima de 19°C. De acordo com Thomaziello et al. (2000) e Guimarães et al. (2002), para o café arábica, temperaturas médias anuais entre 18°C e 22°C são as mais favoráveis, estando a ideal entre 19°C e 21°C; aquelas regiões com temperatura média anual abaixo de 18°C e acima de 23°C são inaptas ao cultivo. O experimento foi realizado num período em que se registram as maiores temperaturas na região, de acordo com as normais climatológicas, com picos ocorridos entre o meio-dia e 15:00 horas. Provavelmente, o piso de cimento da casa de vegetação teve influência sobre a temperatura. O exaustor localizado no interior da casa de vegetação pode ter eliminado parte do ar quente e úmido, reduzindo as temperaturas encontradas, mesmo que de modo não muito eficiente.

As umidades relativas máximas encontradas ficaram entre 92% e 72%, enquanto as mínimas ficaram entre 64% e 30%, com médias máximas e mínimas de 81% e 43%, respectivamente (Figura 7). Estas umidades se encontram em faixas consideradas ótimas para o cultivo do café arábica, não tendo influência negativa para o seu desenvolvimento.

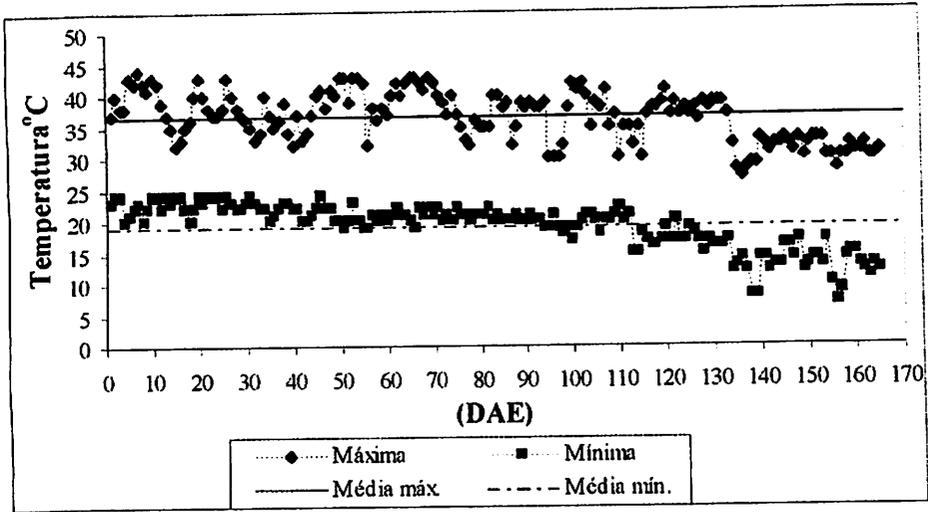


FIGURA 6 Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) máxima e mínima e suas respectivas médias máximas e mínimas dentro da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

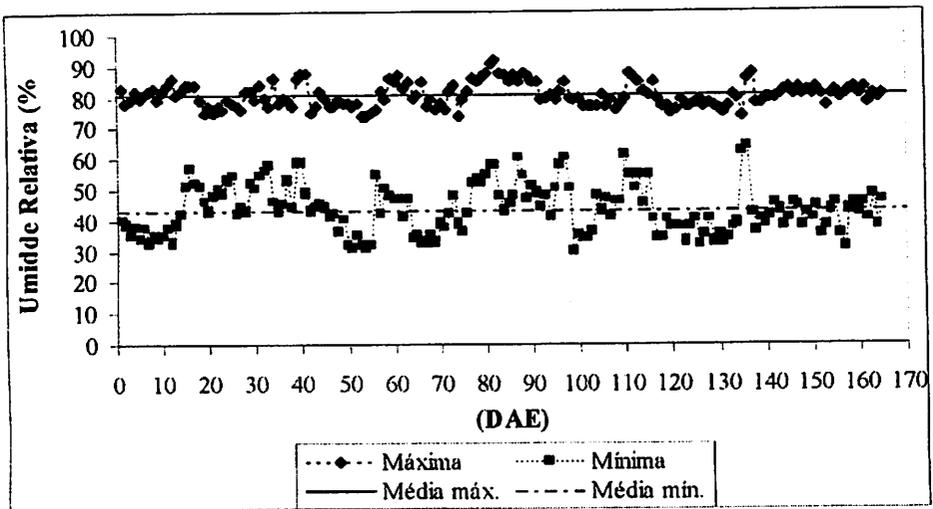


FIGURA 7 Umidade relativa (%) máxima e mínima e suas respectivas médias máximas e mínimas dentro da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

## 4.2 Controle das irrigações

A Figura 8 apresenta a tensão de água no solo (kPa) coletado todos os dias após o estabelecimento da cultura (DAE), sempre por volta das 8:00 horas e 17:00 horas e depois das irrigações. Verifica-se, pelas tensões de água no solo que, inicialmente, as irrigações foram realizadas em intervalos mais espaçados, isto devido ao consumo de água pelas plantas até aproximadamente 30 DAE ter sido reduzido nesta fase de crescimento da planta. A partir de então, as irrigações foram realizadas numa maior frequência em intervalos de 3 a 4 dias, até aproximadamente os 145 DAE. Após os 145 DAE, o consumo de água pela planta reduziu, diminuindo a frequência de irrigação, devido às condições climáticas mais amenas, como mostram as Figuras 6 e 7. A Figura 8 mostra que as reposições de água estabelecidas para uma tensão no solo de 12 kPa foram realizadas de modo eficiente e que o momento de irrigação realizado com o auxílio de blocos de resistência elétrica pode ser realizado sem problemas para o caso de vasos. A tensão na capacidade de campo, encontrada em ensaio dentro da casa de vegetação, foi igual a 5 kPa.

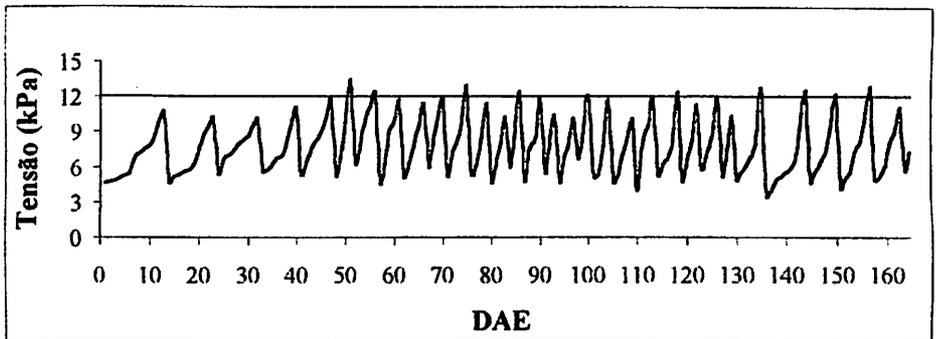


FIGURA 8 Comportamento da tensão de água no solo (kPa) na profundidade de 13 cm em função de DAE. UFLA, Lavras, MG, 2003.

## 4.3 Características da planta

### 4.3.1 Altura

A altura das plantas e as curvas de regressão obtidas a partir dos dados coletados durante o experimento são mostradas na Figura 9 e pelas equações correspondentes na Tabela 3. A altura da planta foi influenciada pelos níveis de salinidade da água de irrigação (N) no decorrer do tempo e suas estimativas mostram um decréscimo da ordem de 31,97% do nível mais alto (S5) em relação à testemunha (S0), representando um decréscimo de 10,66% por unidade de salinidade da água de irrigação. Medeiros (1998) relata que fisiologicamente o crescimento da planta é medido em termos de massa seca acumulada ao longo do tempo, representando a fotossíntese líquida. Entretanto, devido à existência de correlação entre a altura e o peso da planta, é comum avaliar o crescimento de uma planta através de sua altura.

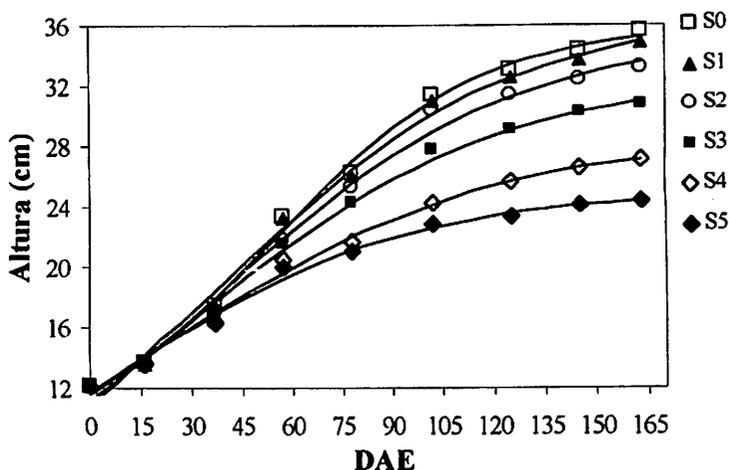


FIGURA 9 Pontos observados e curvas de regressão para a altura da planta (cm) em função de DAE para os diversos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

TABELA 3 Equações de regressão para a altura da planta (cm) em função dos DAE para os diversos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

CEa (N) dS m <sup>-1</sup>	Equações	r <sup>2</sup>
0,0	Altura = $\frac{37,84}{(1 + \exp(0,879 - 0,023 \cdot \text{DAE}))}$	0,994**
0,6	Altura = $\frac{36,89}{(1 + \exp(0,84 - 0,023 \cdot \text{DAE}))}$	0,994**
1,2	Altura = $\frac{35,56}{(1 + \exp(0,801 - 0,022 \cdot \text{DAE}))}$	0,992**
1,8	Altura = $\frac{32,65}{(1 + \exp(0,638 - 0,022 \cdot \text{DAE}))}$	0,995**
2,4	Altura = $\frac{28,65}{(1 + \exp(0,362 - 0,02 \cdot \text{DAE}))}$	0,994**
3,0	Altura = $\frac{25,02}{(1 + \exp(0,139 - 0,023 \cdot \text{DAE}))}$	0,992**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Analisando-se a Figura 9, verifica-se que a altura das plantas tem um comportamento logístico para todos os níveis de salinidade. Este comportamento pode ser explicado pela menor taxa de crescimento das plantas até os 37 DAE, subsequente com aumentos crescentes nas avaliações 57, 78, 102 e 125 DAE e, posteriormente, com aumentos decrescentes nas duas últimas avaliações (145 e 163 DAE). Esta menor taxa de crescimento no final das avaliações deve-se ao fator clima, pois, com dias mais frios (Figuras 6 e 7), diminuiu o consumo das plantas e conseqüentemente seu crescimento. Com relação à análise da altura de plantas dentro de cada tempo (DAE) avaliado, a Figura 10 apresenta os pontos observados e as curvas de regressão obtidas para este caso. Nesta análise os tratamentos diferiram significativamente apenas para as avaliações do 78<sup>o</sup>, 102<sup>o</sup>, 125<sup>o</sup>, 145<sup>o</sup> e 163<sup>o</sup> DAE. Pode-se ter uma idéia deste efeito ainda na Figura 9 pela proximidade dos pontos entre as curvas de regressão.

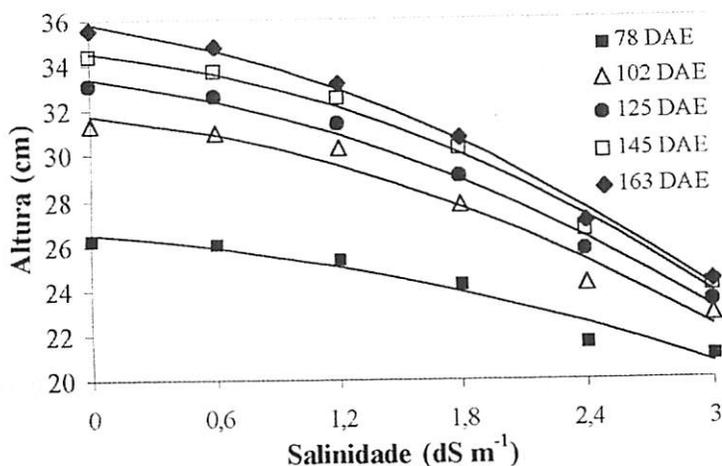


FIGURA 10 Pontos observados e curvas de regressão para a altura da planta (cm) em função da salinidade da água de irrigação nas diferentes épocas de avaliação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Karasawa et al. (2003a), em trabalho com cafeeiro Acaia Cerrado 1474 concluíram que, para a característica altura, o desdobramento dos tratamentos dentro de cada tempo avaliado (73, 103, 163 dias de irrigação) não diferiu significativamente em nenhuma das datas avaliadas, apenas diferindo no decorrer do tempo. Este resultado difere dos aqui encontrados, apesar destes autores terem utilizado água de irrigação com concentrações menores (0,0; 0,6; 0,9; 1,2; e 1,5 dS m<sup>-1</sup>). Sendo o tempo de avaliação bastante idêntico, o confronto destes resultados nos leva a inferir que a cultivar Catuai seja mais susceptível à salinidade que a cultivar Acaia Cerrado 1474.

A Tabela 4 apresenta as equações de regressão correspondentes às curvas da Figura 10, mostrando também os bons ajustes destas equações. Neste caso, os melhores ajustes com desvios não significativos foram obtidos para um comportamento logístico para todas as avaliações realizadas (78, 102, 125 e 145 DAE), o que pode ser observado pela variação dos pontos na Figura 10.

TABELA 4 Equações de regressão para o desdobramento das alturas dentro de cada DAE. UFLA, Lavras, MG, 2003.

DAE	Equações	r <sup>2</sup>
78	Altura = $\frac{27,99}{(1 + \exp(-2,87 - (-0,61 \cdot N)))}$	0,957**
102	Altura = $\frac{33,73}{(1 + \exp(-2,8 - (-0,71 \cdot N)))}$	0,966**
125	Altura = $\frac{35,43}{(1 + \exp(-2,79 - (-0,72 \cdot N)))}$	0,990**
145	Altura = $\frac{36,45}{(1 + \exp(-2,91 - (-0,76 \cdot N)))}$	0,992**
163	Altura = $\frac{38,36}{(1 + \exp(-2,66 - (-0,71 \cdot N)))}$	0,994**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Segundo Borella (1986), a redução no crescimento vegetal, associada ao estresse salino, é atribuída ao processo de aumento da pressão osmótica intracelular a fim de manter a turgidez dos tecidos vegetais à medida que a pressão osmótica aumenta na solução do solo, na rizosfera. Então, além das características já mencionadas, fez-se também a contagem do número de nós do ramo ortotrópico, procurando verificar a influência dos níveis de salinidade da água de irrigação no comprimento entrenós. Verificou-se que a relação entre o número de nós do ramo ortotrópico e a altura da planta aumentou entre a testemunha S0 e o nível S5, gradativamente, mostrando que a salinidade da água de irrigação também diminuiu o comprimento entrenós da planta.

#### 4.3.2 Diâmetro

O diâmetro do caule foi influenciado pela salinidade da água ao longo do tempo como mostra a Figura 11, em que se observa os pontos observados com suas respectivas curvas de regressão. O decréscimo obtido pelas estimativas do diâmetro foi da ordem de 40,8%, representando um decréscimo de 13,59% em

média para cada acréscimo de unidade da salinidade da água de irrigação aos 163 DAE. O comportamento do diâmetro foi diferenciado entre as salinidades no tempo, como mostram as equações da Tabela 5. Verifica-se que os níveis S0, S1 e S2 tiveram comportamento quadrático enquanto que os níveis S3, S4 e S5 tiveram um comportamento conhecido por lei de Mitscherlich. A diferença no comportamento dos dados deve-se ao fato de o decréscimo no crescimento ter sido maior para os últimos três níveis, enquanto que para os três primeiros níveis de salinidade este decréscimo foi bem menor, bem como pela significância dos desvios. A Tabela 5 apresenta as equações de regressão e o ajuste dos dados para esta característica.

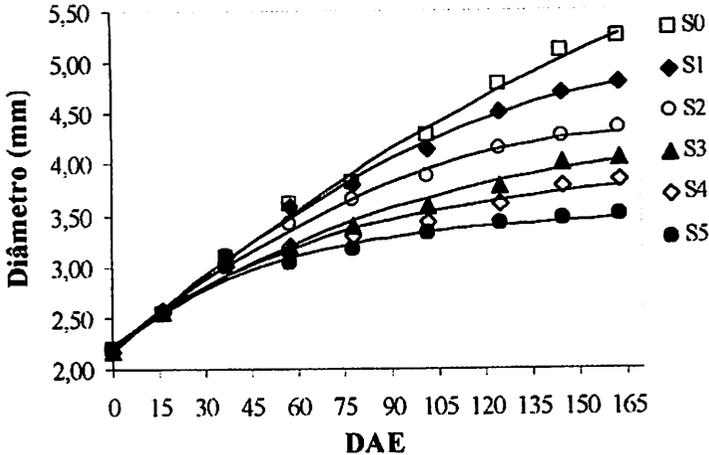


FIGURA 11 Pontos observados e curvas de regressão para o diâmetro de caule (mm) em função de DAE para os diversos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

A Figura 12 mostra o efeito da salinidade dentro de cada época (DAE) avaliada. Neste caso, houve efeito significativo apenas para as avaliações dos 57<sup>o</sup> DAE em diante, diferentemente da altura que teve efeito apenas dos 78<sup>o</sup> DAE em diante. As curvas de regressão mostram que o comportamento foi

linear em todas as épocas avaliadas, havendo decréscimo no diâmetro à medida que se aumentou a salinidade da água de irrigação.

TABELA 5 Equações de regressão ajustadas para o diâmetro do caule (mm) em função de DAE, nos diversos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

CEa (N) dS m <sup>-1</sup>	Equações	r <sup>2</sup>
0,0	Diâmetro=2,7875+0,025·DAE-3,8·10 <sup>-5</sup> ·DAE <sup>2</sup>	0,996**
0,6	Diâmetro=2,1806+0,0264·DAE-6,3·10 <sup>-5</sup> ·DAE <sup>2</sup>	0,997**
1,2	Diâmetro=2,2206+0,0239·DAE-6,8·10 <sup>-5</sup> ·DAE <sup>2</sup>	0,995**
1,8	Diâmetro=4,448·(1-10 <sup>(-0,0045·(DAE+67,14))</sup> )	0,988**
2,4	Diâmetro=3,945·(1-10 <sup>(-0,0061·(DAE+58,79))</sup> )	0,982**
3,0	Diâmetro=3,523·(1-10 <sup>(-0,0083·(DAE+51,62))</sup> )	0,987**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

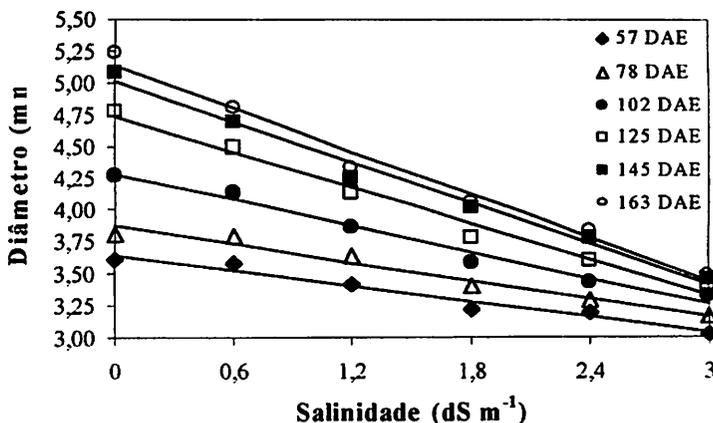


FIGURA 12 Pontos observados e curvas de regressão para o diâmetro do caule (mm) em função da salinidade da água de irrigação nas diferentes épocas de avaliação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

### 4.3.3 Área foliar

A área foliar foi afetada pela salinidade da água de irrigação ao longo do tempo, como mostram as curvas de regressão apresentadas na Figura 13, tendo um comportamento semelhante à altura da planta. Inicialmente, a taxa de crescimento foi baixa até o 78<sup>o</sup> DAE, tomando um comportamento quase que linear até o 145<sup>o</sup> DAE, retornando posteriormente a uma menor taxa de crescimento. Este tipo de comportamento que descreve a curva do tipo logístico modificado ocorreu para todos os tratamentos, sendo bem visualizado nesta Figura, em que a área foliar tende a estabilizar com o decorrer do tempo. Esta estabilização deve-se ao fator clima anteriormente mencionado. Observa-se também que quanto maior foi o nível de salinidade, mais rápido as curvas tendem a se estabilizar.

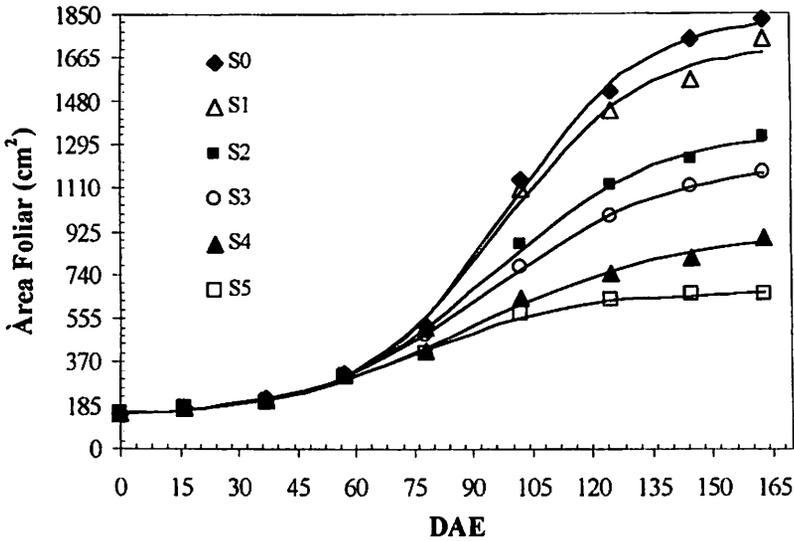


FIGURA 13 Pontos observados e curvas de regressão para área foliar em função de DAE para os diversos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

A menor taxa de aumento da área foliar até os 57 DAE está de acordo com o menor consumo de água pela planta neste período (Figura 8), pois as plantas ainda adaptavam-se às condições de cultivo em casa de vegetação. De acordo com Araújo (1994), a redução da área foliar causada pela salinidade provavelmente decorre da diminuição do volume das células. Os resultados mostram que ocorre realmente a redução da área foliar da planta com o aumento no nível de salinidade e que este efeito é significativo. Esta característica apresentou decréscimo da ordem de 63,5% do nível S5 em relação a S0, representando um decréscimo de 21,17% para cada unidade de salinidade da água de irrigação, em média, ao final do período experimental. Estes resultados mostram que esta característica foi a que mais sofreu alterações devido aos tratamentos. As equações de regressão estão apresentadas na Tabela 6, mostrando o bom ajuste.

TABELA 6 Equações de regressão para a área foliar (cm<sup>2</sup>) em função de DAE, nos diversos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

CEa (N) dS m <sup>-1</sup>	Equações	r <sup>2</sup>
0,0	AF=154,44 - $\frac{1696,46}{(1+\exp(5,591-0,057 \cdot \text{DAE}))}$	0,998**
0,6	AF=149,15 - $\frac{1577,42}{(1+\exp(5,323-0,055 \cdot \text{DAE}))}$	0,997**
1,2	AF=142,10 - $\frac{1205,98}{(1+\exp(4,567-0,048 \cdot \text{DAE}))}$	0,999**
1,8	AF=134,87 - $\frac{1083,84}{(1+\exp(4,145-0,044 \cdot \text{DAE}))}$	0,999**
2,4	AF=119,99 - $\frac{806,20}{(1+\exp(3,358-0,037 \cdot \text{DAE}))}$	0,997**
3,0	AF=141,74 - $\frac{524,16}{(1+\exp(3,794-0,051 \cdot \text{DAE}))}$	0,997**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A Figura 14 mostra as curvas de regressão para o efeito de salinidade dentro de cada tempo analisado (DAE). Este efeito foi significativo apenas para os tempos do 78<sup>o</sup> DAE em diante, mantendo um comportamento linear para todas as avaliações. De acordo com Pereira et al. (1997), o índice de área foliar define o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) em cada estágio de desenvolvimento ou, dependendo do método de estimativa da evapotranspiração, até o substitui. Também define até o rendimento da cultura, uma vez que o rendimento é função da evapotranspiração (Doorenbos & Kassam, 1994).

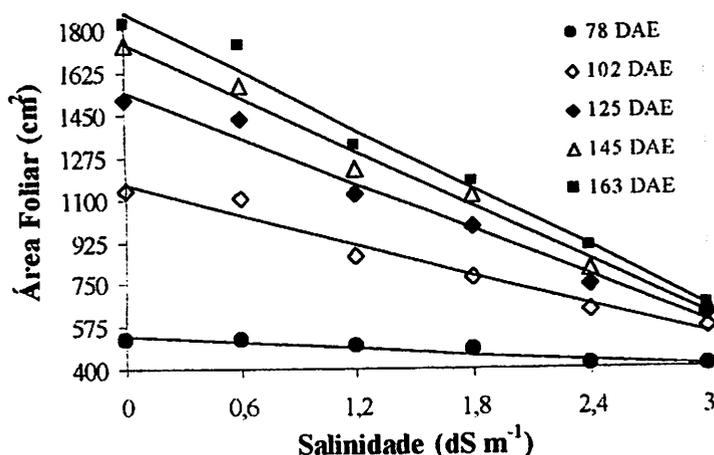


FIGURA 14 Pontos observados e curvas de regressão para a área foliar (cm<sup>2</sup>) em função da salinidade nas diferentes épocas de avaliação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

As reduções da área foliar e da fotossíntese contribuem, de certo modo, com a adaptação da cultura à salinidade (Araújo, 1994). Läuchli & Epstein (1990), citados por Lima (1998), afirmam que a redução da área foliar pode aumentar, indiretamente, a concentração total de solutos na folha, a qual contribui para o ajustamento osmótico, a menos que os solutos elevem-se a níveis tóxicos em compartimentos celulares específicos na folha.

Tendo por objetivo verificar a área média de cada folha, coletou-se o número de folhas. Neste caso, a relação da área foliar e número de folhas decresceu em relação ao nível de salinidade e o tempo, concordando com estes autores.

#### 4.3.4 Massa fresca e seca de caule, folhas e de raízes

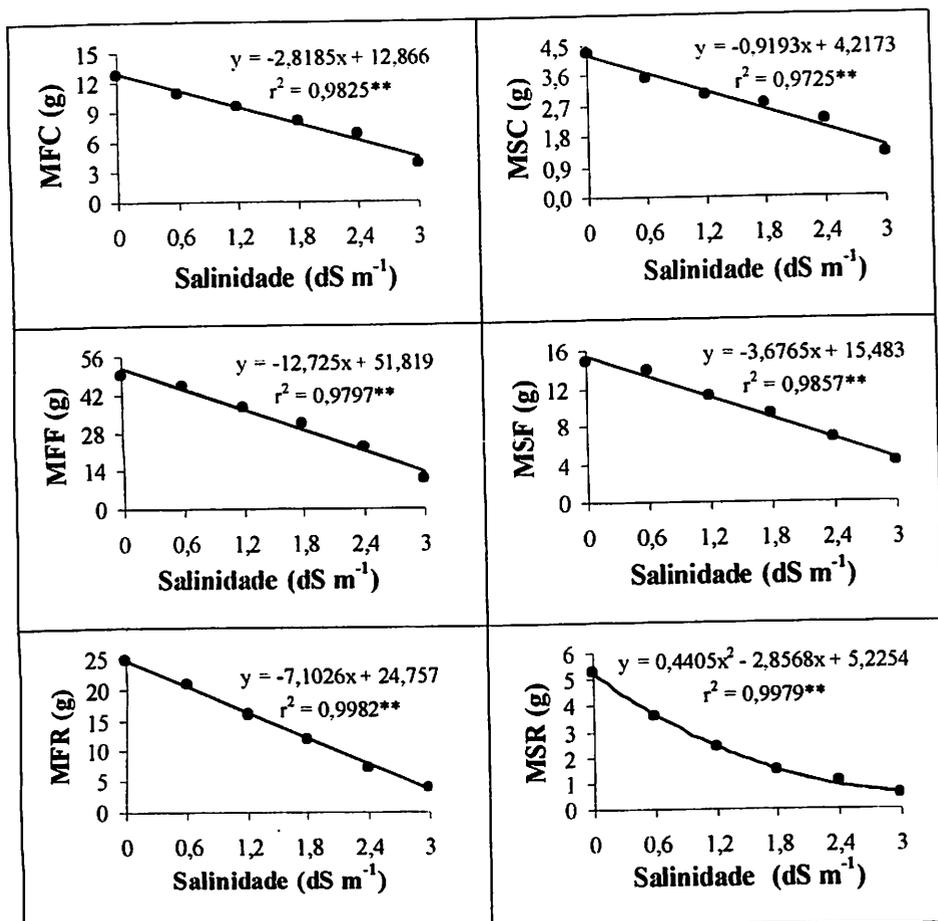
Na Figura 15 está apresentado o comportamento da massa fresca e seca do caule, folhas e raízes em função dos níveis de salinidade da água de irrigação e na Tabela 7 encontram-se o resumo da análise de variância para estas características bem como suas médias. Conhecer o comportamento do crescimento da parte aérea da cultura é, segundo Läuchli & Epstein (1990) citados por Medeiros (1998), de grande importância, uma vez que esta característica é um indicador do estresse salino em planta halófitas.

TABELA 7 Resumo da ANAVA para a massa seca de caule (MSC), massa fresca de caule (MFC), massa seca de folhas (MSF), massa fresca de folhas (MFF), massa seca de raízes (MSR), massa fresca de raízes (MFR), relação raízes/parte aérea da planta (R/A) e teor de massa seca da parte aérea (TMSA). UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de Variação	G.L	Q.M.							
		MSC	MFC	MSF	MFF	MSR	MFR	R/A	TMSA
Salinidade	5	4,38 <sup>**</sup>	40,75 <sup>**</sup>	69,11 <sup>**</sup>	833,0 <sup>**</sup>	12,66 <sup>**</sup>	274,7 <sup>**</sup>	0,017 <sup>**</sup>	17,33 <sup>ns</sup>
Residuo	18	0,056	0,88	1,296	7,13	0,055	0,95	5·10 <sup>-4</sup>	10,88
Média		2,84	8,64	9,97	32,73	2,39	14,10	0,17	31,52
CV (%)		8,16	10,86	11,42	8,16	9,80	6,63	13,40	10,46

<sup>\*\*</sup>significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup>não significativo.



\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

FIGURA 15 Pontos observados e curvas de regressão das características massa fresca de caule (MFC), massa seca de caule (MSC), massa fresca de folhas (MFF), massa seca de folhas (MSF), massa fresca de raízes (MFR) e massa seca de raízes (MSR) em relação aos níveis de salinidade aos 163 DAE. UFLA, Lavras, MG, 2003.

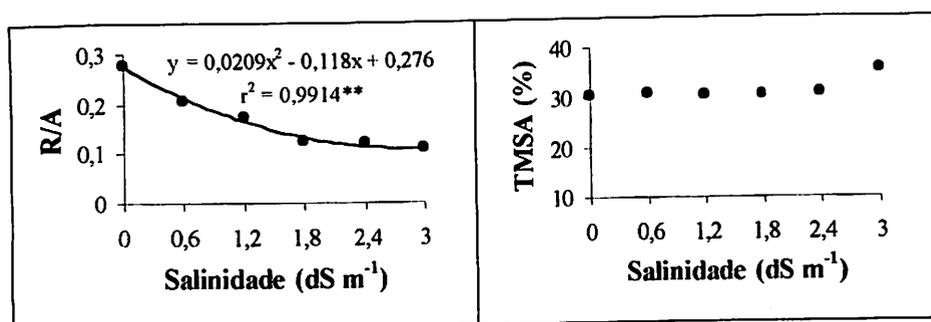
A Figura 15 mostra que as características massa fresca do caule (MFC), massa seca do caule (MSC), massa fresca das folhas (MFF), massa seca das folhas (MSF) e massa fresca das raízes (MFR) tiveram um comportamento

linear e decrescente, com o aumento do nível de salinidade da água de irrigação, enquanto que somente a massa seca das raízes (MSR) apresentou um comportamento quadrático decrescente. Segundo Silva (2002), a massa seca representa fisiologicamente o crescimento da planta ao longo do ciclo, com forte correlação entre a altura da planta e pode ainda representar a fotossíntese líquida. A massa verde, por sua vez, permite interpretar o suprimento hídrico da planta.

A massa seca e verde diferiu significativamente a 1% em função dos níveis de salinidade, para todas as características avaliadas. As equações de regressão também se encontram na Figura 15, mostrando o alto ajuste das mesmas. Para a massa seca de caule e de folhas, as equações mostram que a perda foi de, aproximadamente 0,92 e 3,68 g, respectivamente, por incremento de unidade da salinidade da água de irrigação. Essa mesma queda foi de 2,81 e 12,73 g para a massa fresca de caule e folhas, respectivamente.

O teor de massa seca da parte aérea (TMSA) não foi significativo pelo teste F (Tabela 7). Medeiros (1998), trabalhando com pimentão, não encontrou diferenças no teor de massa seca com os níveis de salinidade da água. Kramer (1983), citado por Medeiros (1998), afirma que a porcentagem de massa seca da planta tende a aumentar com a salinidade. Difícil prever que isto pudesse acontecer, mas, observando-se as médias encontradas (Figura 16), apesar da oscilação, este indicio pode ser mais bem constatado em um tempo maior de exposição da cultura aos níveis de salinidade. Também na Figura 16 verifica-se que a relação R/A decresceu em função da salinidade da água de irrigação, isto devido à diminuição do sistema radicular, já que a altura não aumentou com o nível de salinidade. Este fato mostra a importância do cuidado em relação aos prejuízos causados no sistema radicular, quando se utiliza água salina, principalmente neste período de implantação, quando a interferência no

desenvolvimento radicular poderá causar danos irreparáveis no crescimento e posteriormente, na produção do cafeeiro.



\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

FIGURA 16 Pontos observados e curvas de regressão para a característica relação raiz/parte aérea (R/A) e teor de massa seca da parte aérea (TMSA) em função dos níveis de salinidade aos 163 DAE. UFLA, Lavras, MG, 2003.

#### 4.3.5 Teores de macro e micronutrientes nas folhas

Segundo Malavolta (1993), por ocasião da absorção dos nutrientes, podem ocorrer efeitos de antagonismo, de sinergismo, ou de inibição de um sobre o outro. Então, na presença de salinidade, os problemas nutricionais e de fertilidade são geralmente acentuados, devido ao aumento na concentração de alguns íons específicos que provocam fitotoxicidez e ou desequilíbrio nutricional. No caso de solo, existe um limite mínimo de concentração para cada nutriente, enquanto na planta, o teor dos nutrientes deve apresentar uma faixa de concentração em que existe um limite mínimo e um máximo.

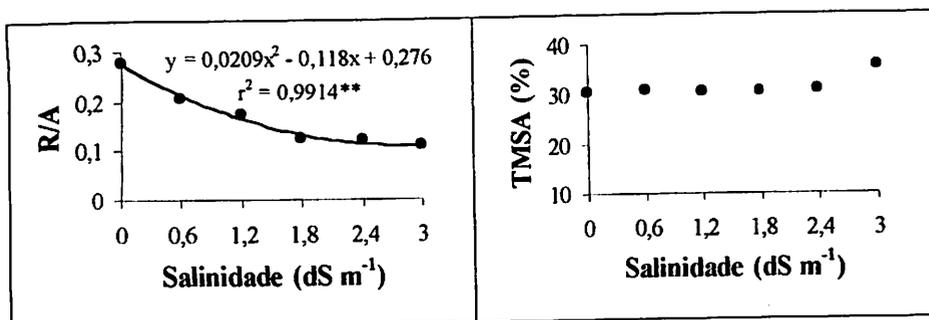
A Tabela 8 apresenta os teores de macro e micronutrientes além do sódio (Na) nas folhas para cada nível de salinidade. Verifica-se que para os macros e micronutrientes não ocorre nenhuma tendência definida nos valores encontrados

valores maiores de salinidade do solo desde o início do experimento, quanto mais salina foi a água.

Observa-se que o comportamento é idêntico para as duas camadas, isto é, os níveis de salinidade S1 e S2 tiveram um comportamento linear enquanto que os níveis S3, S4 e S5 apresentaram um comportamento quadrático. Outro fato importante é que realmente a salinidade na camada mais superficial (0–10 cm) foi um pouco mais elevada, chegando a um máximo de 16,23 dS m<sup>-1</sup> para o nível S5 enquanto que a camada 10–20 cm apresentou um máximo de 13,68 dS m<sup>-1</sup>. É importante enfatizar que para o nível de salinidade S0 (testemunha), apesar de sua evolução no decorrer do tempo não ter sido significativo (Tabela 9A - Anexo), suas médias demonstram que ocorre aumento sucessivo ao longo do tempo para as duas camadas, o que também foi observado por Karasawa et al. (2003b). No geral, a salinidade do solo proporcionou curvas lineares e quadráticas aproximadamente paralelas entre tratamentos.

Os perfis de salinidade decrescentes de uma profundidade para outra estão de acordo com os resultados de Medeiros (1998), Silva (2002), Blanco (1999), Cruciani et al. (1996) e Jury et al. (1978), que observaram, para o primeiro ciclo de culturas anuais, acúmulos de sais em maior proporção na camada superficial do solo. Vários autores, dentre eles Oliveira (1983), Ayers (1977), Christiansen et al. (1977), Maas & Hoffman (1977) e Rhoades (1972), fizeram considerações sobre a afirmação de que o maior acúmulo de sais na camada mais superficial possivelmente está relacionado ao período de irrigação (<6 meses) associado à maior concentração das raízes, em que a perda de água pela evapotranspiração da cultura é maior, forçando a água de irrigação aplicada ficar retida nessa região.

desenvolvimento radicular poderá causar danos irreparáveis no crescimento e posteriormente, na produção do cafeeiro.



\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

FIGURA 16 Pontos observados e curvas de regressão para a característica relação raiz/parte aérea (R/A) e teor de massa seca da parte aérea (TMSA) em função dos níveis de salinidade aos 163 DAE. UFLA, Lavras, MG, 2003.

#### 4.3.5 Teores de macro e micronutrientes nas folhas

Segundo Malavolta (1993), por ocasião da absorção dos nutrientes, podem ocorrer efeitos de antagonismo, de sinergismo, ou de inibição de um sobre o outro. Então, na presença de salinidade, os problemas nutricionais e de fertilidade são geralmente acentuados, devido ao aumento na concentração de alguns íons específicos que provocam fitotoxidez e ou desequilíbrio nutricional. No caso de solo, existe um limite mínimo de concentração para cada nutriente, enquanto na planta, o teor dos nutrientes deve apresentar uma faixa de concentração em que existe um limite mínimo e um máximo.

A Tabela 8 apresenta os teores de macro e micronutrientes além do sódio (Na) nas folhas para cada nível de salinidade. Verifica-se que para os macros e micronutrientes não ocorre nenhuma tendência definida nos valores encontrados

entre as salinidades, mesmo estando estes muito próximos. A única exceção é o Na, que aumentou com o nível de salinidade. Ayers & Westcot (1991) relatam que o Na acumula-se gradativamente nas folhas, atingindo concentração máxima quando a folha amadurece.

TABELA 8 Teores de macro e micronutrientes e sódio nas folhas em cada tratamento. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S
	(%)					
0,0	5,55	0,10	1,58	0,44	0,24	0,20
0,6	5,90	0,12	1,90	0,46	0,24	0,25
1,2	5,72	0,13	1,92	0,40	0,25	0,21
1,8	5,75	0,16	1,52	0,44	0,24	0,21
2,4	5,97	0,16	1,47	0,47	0,25	0,23
3,0	5,96	0,17	1,47	0,60	0,24	0,23
Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )	B	Cu	Mn	Zn	Fe	Na
	(ppm)					
0,0	23,3	2,5	291,2	15,1	107,5	778,3
0,6	15,8	2,5	276,2	8,3	87,6	3644,4
1,2	30,9	3,5	250,5	8,2	78,8	4639,7
1,8	32,3	3,5	258,4	8,7	91,4	7341,7
2,4	30,9	4,3	249,4	8,7	93,1	8821,0
3,0	31,1	3,4	253,0	15,5	107,1	9909,7

De acordo com a recomendação proposta por Malavolta (1993), para os níveis encontrados de macronutrientes, em média, o nitrogênio (N) foi classificado como excessivo, o fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) marginais, o enxofre (S) adequado e o magnésio (Mg) deficiente. Já no caso dos micronutrientes, o boro (B) e o cobre (Cu) foram classificados como marginais, o manganês (Mn) alto, o zinco (Zn) e o ferro (Fe) adequados. Apesar de não terem sido descritos na literatura sintomas de toxidez pelo Na no cafeeiro, sabe-se que a toxidez pelo excesso desse nutriente causa sintomas como plantas apresentando clorose entre as nervuras sobressaindo para a borda da folha com limbo ligeiramente crestado e com aspecto mosqueado (Maas & Hoffman,

1977). Estes sintomas foram observados no experimento e, posteriormente, observou-se também que algumas plantas pertencentes aos dois níveis mais elevados de salinidade chegaram a morrer. Malavolta (1993), afirma que a toxidez ocasionada pelo excesso de cloro só aparece em casos extremos nos quais se encontram teores foliares acima de 5.000 a 10.000 ppm. Nestes casos, as plantas passam então a apresentar sintomas como folhas com secamento nas pontas e margens e queda de frutos. Apesar de não se ter quantificado o cloro nas folhas, estes sintomas descritos para as folhas também foram verificados no experimento, o que já era esperado devido à salinidade da água ser produzida com NaCl.

#### **4.4 Características do solo**

##### **4.4.1 Salinidade**

Segundo Medeiros (1998), uma das principais conseqüências negativas da irrigação é o possível aparecimento dos problemas da salinidade, sobretudo quando os teores de sais na água são elevados. Sob condições irrigadas, a absorção de água pelas plantas e a evaporação pela superfície do solo fazem com que os sais se concentrem na zona radicular, sendo esta concentração proporcional ao volume de água removido (Bresler et al., 1982, citados por Blanco, 1999). Vários outros estudos têm demonstrado que o acúmulo de sais se dá na periferia do bulbo molhado e na camada superficial do solo.

A Figura 17 mostra a evolução da salinidade do solo coletado em duas camadas ao decorrer de DAE. Logicamente, para um mesmo volume de água aplicado, quanto maior a salinidade da água mais sais são adicionados ao solo. Esta foi a principal influência da salinidade da água de irrigação, produzindo

valores maiores de salinidade do solo desde o início do experimento, quanto mais salina foi a água.

Observa-se que o comportamento é idêntico para as duas camadas, isto é, os níveis de salinidade S1 e S2 tiveram um comportamento linear enquanto que os níveis S3, S4 e S5 apresentaram um comportamento quadrático. Outro fato importante é que realmente a salinidade na camada mais superficial (0–10 cm) foi um pouco mais elevada, chegando a um máximo de 16,23 dS m<sup>-1</sup> para o nível S5 enquanto que a camada 10–20 cm apresentou um máximo de 13,68 dS m<sup>-1</sup>. É importante enfatizar que para o nível de salinidade S0 (testemunha), apesar de sua evolução no decorrer do tempo não ter sido significativo (Tabela 9A - Anexo), suas médias demonstram que ocorre aumento sucessivo ao longo do tempo para as duas camadas, o que também foi observado por Karasawa et al. (2003b). No geral, a salinidade do solo proporcionou curvas lineares e quadráticas aproximadamente paralelas entre tratamentos.

Os perfis de salinidade decrescentes de uma profundidade para outra estão de acordo com os resultados de Medeiros (1998), Silva (2002), Blanco (1999), Cruciani et al. (1996) e Jury et al. (1978), que observaram, para o primeiro ciclo de culturas anuais, acúmulos de sais em maior proporção na camada superficial do solo. Vários autores, dentre eles Oliveira (1983), Ayers (1977), Christiansen et al. (1977), Maas & Hoffman (1977) e Rhoades (1972), fizeram considerações sobre a afirmação de que o maior acúmulo de sais na camada mais superficial possivelmente está relacionado ao período de irrigação (<6 meses) associado à maior concentração das raízes, em que a perda de água pela evapotranspiração da cultura é maior, forçando a água de irrigação aplicada ficar retida nessa região.

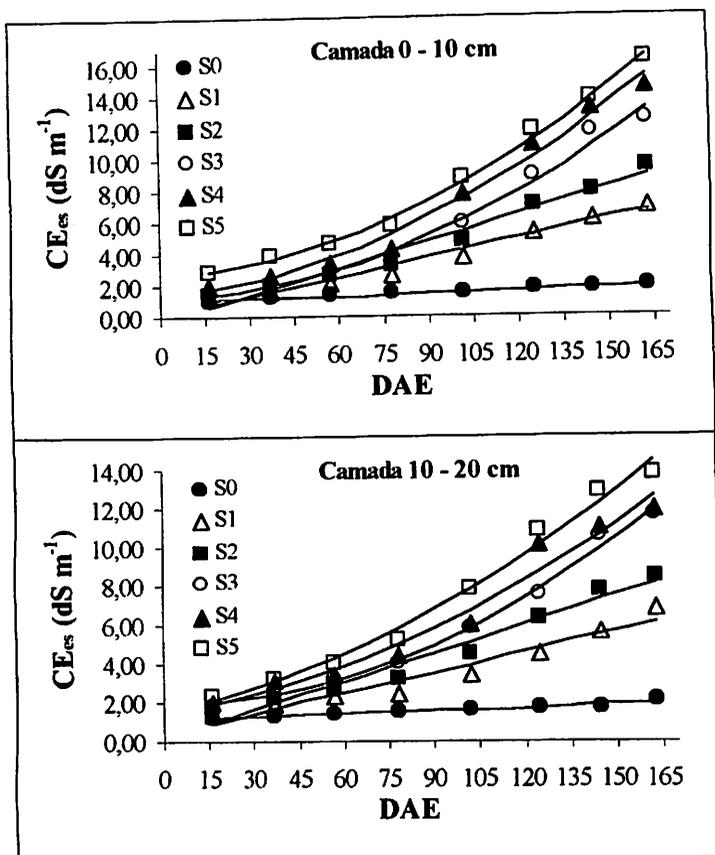


FIGURA 17 Evolução da salinidade do solo ao longo dos DAE para diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e para as duas camadas avaliadas. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fez-se também a análise da salinidade do solo dentro de cada tempo avaliado (DAE), como mostra a Figura 18. Neste caso, verificou-se que a salinidade do solo foi diferente nas épocas de avaliações 78, 102, 125, 145 e 163 DAE nas duas camadas avaliadas, sendo que o comportamento foi linear para todas essas épocas e também nas duas camadas. Confrontando esses dados com as características da planta como altura e área foliar, observa-se que a influência dos níveis de salinidade dentro de cada DAE avaliado começou a ser

significativa na mesma época, caracterizando a direta influência da salinidade do solo nestas características da planta.

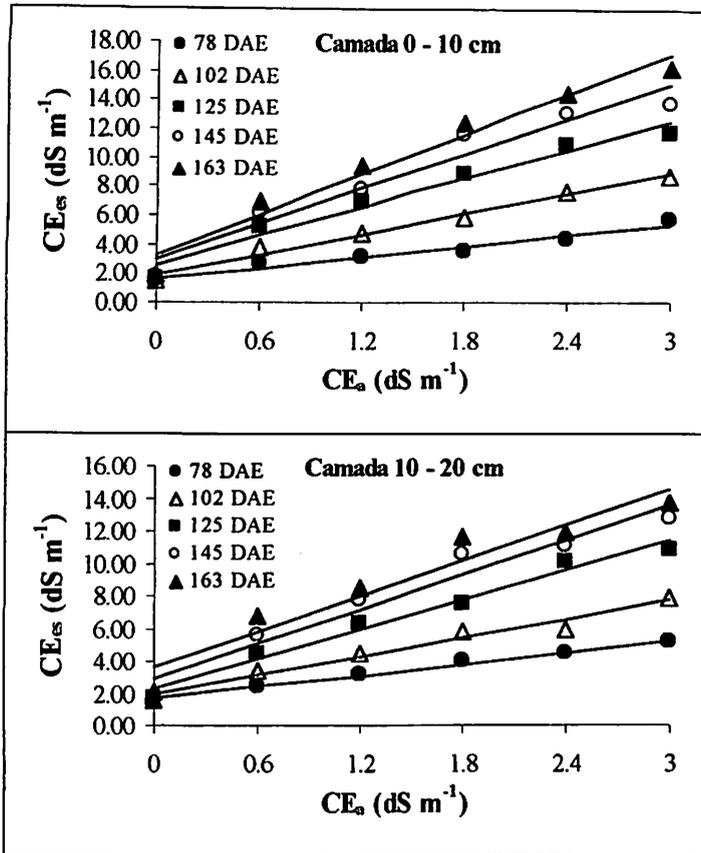


FIGURA 18 Salinidade do solo em função da salinidade da água de irrigação nas diferentes épocas de avaliação para as duas camadas avaliadas. UFLA, Lavras, MG, 2003.

#### 4.4.2 Teores de macro e micronutrientes

Os problemas da salinidade se manifestam quando o acúmulo de sais solúveis no solo ultrapassa níveis acima dos tolerados pelas plantas, quando há aumento relativo na concentração de sódio, ou quando concentrações de íons específicos provocam fitotoxicidade ou desbalanceamento. A Tabela 9 mostra as concentrações totais dos macros e micronutrientes do solo em cada tratamento. No geral, a adubação de plantio foi suficiente para suprir as necessidades da planta neste estágio de desenvolvimento (crescimento). Com relação aos nutrientes boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn) e enxofre (S), os teores foram considerados adequados segundo Malavolta (1993), exceção feita ao B que ficou um pouco abaixo do recomendado. Os valores de K, Mg e P podem ser considerados em média adequados em relação aos níveis considerados críticos no solo para as culturas e o Ca ficou um pouco abaixo do adequado. No entanto, a quantidade de Ca aplicada no plantio foi suficiente para elevar o índice de saturação de bases (V) como mostra a Tabela 9 em comparação com a Tabela 1, até o nível adequado ao cafeeiro, sem a necessidade de calagem como recomendado.

A salinidade da água de irrigação aumentou a concentração de Na no solo, bem como sua CTC (T), enquanto que para os outros nutrientes não apresentou uma tendência definida, concordando com dados de Silva (2002), Blanco (1999) e Medeiros (1998). Em se tratando de Na, o mais importante é verificar sua concentração relativa no complexo sortivo, a qual é dada pela PST (percentagem de sódio trocável). Apesar de não se ter dados da influência direta da PST no cafeeiro, dentro da classificação descrita em Cabello (1996), Christiansen (1977) e Richards (1954), para o tratamento S0 o solo foi não sódico, para o S1 mediantemente sódico, para o S2 fortemente sódico e, para os demais tratamentos, extremamente sódicos, ao final do experimento. Apesar de não se ter realizado uma análise de desestruturação do solo que seria ocasionada

pelo aumento da PST, pôde-se observar, principalmente na ocasião do processo de lavagem das raízes, que o solo se encontrava bem desestruturado e bem mais úmido nos tratamentos mais elevados como S4 e S5, o que comprova o baixo consumo de água pela planta nesses níveis, provocado pelo estresse osmótico.

TABELA 9 Concentração de macro e micronutrientes no solo ao final do experimento. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	P K Na			Ca Mg Al			T
		(mg dm <sup>-3</sup> )			(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
0,0	5,3	88,2	83	16,6	1,3	0,6	0,1	4,5
0,6	5,6	93,3	70	154,6	1,4	0,5	0,1	4,8
1,2	5,6	93,3	81	353,3	1,2	0,7	0,1	5,8
1,8	5,5	78,2	72	441,6	1,2	0,4	0,1	5,8
2,4	5,4	83,2	81	677,1	1,1	0,9	0,1	7,3
3,0	5,6	78,2	80	971,5	1,3	0,7	0,1	8,3

Salinidade (dS m <sup>-1</sup> )	P-rem (mg L <sup>-1</sup> )	Zn Mn Cu B S					PST (%)	V
		(mg dm <sup>-3</sup> )						
0,0	35,7	7,4	7,6	1,8	0,2	36,2	1,61	58,7
0,6	37,7	6,7	4,8	1,6	0,2	24,1	13,86	59,7
1,2	37,7	5,8	4,5	1,8	0,2	50	26,75	63,5
1,8	37,7	5,7	4,8	1,4	0,3	39,2	33,08	63,8
2,4	37,7	6,1	4,6	1,5	0,4	47,3	40,60	71
3,0	39,8	5,8	6,1	1,4	0,6	40,3	50,72	77,2

pH em água, relação 1:2,5; P, K e Na, extrator de Mehlich 1; Ca, Mg Al, extrator: KCL 1N; CTC (T) capacidade de troca catiônica a pH 7,0; P-rem = fósforo remanescente; V = índice de saturação de bases.

#### 4.5 Considerações finais

Todas as características aqui estudadas, tanto da planta como do solo, foram influenciadas pela salinidade da água de irrigação. Para as características das plantas, os decréscimos foram maiores à medida que aumentaram os níveis de salinidade, chegando, em média, a ultrapassar os 20% por incremento de unidade da salinidade da água de irrigação (dS m<sup>-1</sup>) para a área foliar. Para os

teores de macro e micronutrientes nas folhas, verificou-se que houve realmente um aumento crescente do Na (sódio) à medida que se aumentou a salinidade da água de irrigação, e que esse aumento crescente proporcionou o surgimento de sintomas característicos de toxicidade na folhas, como queimaduras, clorose e, conseqüentemente, queda de folhas e morte de algumas plantas nos tratamentos S4 e S5, bem como desbalanceamento nutricional.

Em se tratando das características do solo, observou-se o que era até esperado como evolução crescente da salinidade do solo nas duas camadas analisadas e aumento da PST, chegando a 50,72%, classificando o solo como extremamente sódico. Com os resultados encontrados, recomenda-se não utilizar água de irrigação cuja salinidade esteja acima de  $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ , pois as perdas no crescimento nesta fase poderão afetar intensamente a produção e produtividade posteriormente, principalmente quando não se tem um manejo adicional desta água, como, por exemplo misturas de água, lâmina lixiviação, manejo correto da fertirrigação, etc.

## 5 CONCLUSÕES

- O crescimento inicial do cafeeiro é influenciado pela salinidade da água a partir de  $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ , podendo paralisar seu crescimento ou até mesmo levá-la morte.
- A área foliar das plantas é a característica mais afetada pela salinidade da água de irrigação.
- O uso de água com salinidade superior a  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  levou o solo a ser classificado como salino e extremamente sódico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2003. p. 215-242. (Café).

ALVES, M.E.B. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. 1999. 94p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ANTUNES, R.C.B. et al. Determinação da evapotranspiração da cultura do cafeeiro em formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. Resumos Expandidos... Brasília: EMBRAPA CAFÉ e MINASPLAN, 2000. v. 2, p. 810.

ARAÚJO, C.A.S. Avaliação de feijoeiros quanto à tolerância a salinidade em solução nutritiva. 1994. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino. Recife: CNPq, 1995. 128p.

AYERS, R.S. Quality of water for irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.103, n.2, p. 135-154, 1977.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29).

BARROS, R.S. et al. Determinação da área de folhas de café (*Coffea arabica* L. cv "Bourbon Amarelo"). *Revista Ceres*. Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, 1973.

BARROS, U.V.; SANTINATO, R.; MATIELLO, J.B. Irrigação do cafeeiro nas condições edafoclimáticas da Zona da Mata-MG, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 25., 1999, Franca. *Trabalhos Apresentados...* Franca: CP&D, 1999.p. 264-265.

BLANCO, F.F. Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo. 1999. 104p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

BORELLA, J.E. Efeito da irrigação com água salina e da lâmina de lixiviação na produção do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e na salinização do solo: 1986. 82p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

CABELLO, P.F. Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF), goteo, microaspersión, exudación. 3.ed. Madri: Mundi-Prensa, 1996. 511p.

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.53-90.

COELHO, G. Épocas de irrigação, parcelamentos de adubação e fertirrigação do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. 2001. 54p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CRUCIANI, D.E.; MEDEIROS, J.F.de; VILLA, S.T. Salinização de solo cultivado com feijão sob irrigação e lixiviação In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. Anais. Campinas: FEC/FEAGRI/ABID, 1996. p.641-652.

CHRISTIANSEN, J.E.; OELSEN, E.C.; WILLARDSON, L.S. Irrigation water quality evaluation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.103, n.2, p.155-169, 1977.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de H.R. Gheyi, A.A de Sousa, F.AV. Damasceno e J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Estudos de irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D. et al. SWRC version 3.00 beta: Soil Water Retention Curve. Piracicaba, SP, May 18, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Secretaria de Apoio aos Sistemas Estaduais / Assessoria de Comunicação Social. *Pesquisa Estadual em Foco*, v.6, n.16, 8p. set./dez., 2002.

FARIA, M.A.de; REZENDE, F.C. Irrigação na cafeicultura. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Curso de pós-graduação "Latu Sensu" (especialização) à distância. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 110p. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 110p. (Especialização "Latu Sensu").

FRANÇA NETO, A.C. de. et al. Determinação da evapotranspiração de dois cultivares de café arábica na fase de maturação dos frutos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DO CAFÉ DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: EMBRAPA CAFÉ. 2001. p. 44.

GEVÁSIO, E.S. **Efeito de diferentes lâminas de água no desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na fase inicial de formação da lavoura**. 1998. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A.N.G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Universidade Federal de Lavras/ FAEPE, Lavras-MG, 2002. 317p.

JURY, W.A. et al. Transient changes in the soil-water system from irrigation with saline water. II. Analysis of experimental data. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.585-590, 1978.

KARASAWA, S. **Crescimento e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Topázio MG-1190) sob diferentes manejos de irrigação localizada**. 2001. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

KARASAWA, S. et al. Comportamento de mudas de café submetidas à irrigação com diferentes níveis de salinidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza-CE: SBEA, 2000. CD ROM.

KARASAWA, S. et al. Desenvolvimento aéreo da muda do *Coffea arabica* L. submetido à irrigação com água salina. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2003a. p. 121.

KARASAWA, S. et al. Resposta da muda do *Coffea arabica* L. submetido à irrigação salina. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2003b. p. 148.

  
LIMA, V.L.A. Efeito da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lísímetro de drenagem. 1998. 87p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAAS, E.V.; HOFFMAAN, G.J. Crop salt tolerance – current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 103, p. 115-134, 1977.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p.

MARTINS, C.P.; GOMES, N.M.; VILELA, L.A.A. Avaliação da produtividade, rendimento, maturação e tamanho dos grãos das duas primeiras safras de café irrigado por Pivô Central, sob diferentes regimes de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Trabalhos Apresentados...** Lavras: PROCAFÉ, 2002. p. 153-155.

MATIELLO, J.B. Evolução da salinidade e comportamento do cafeeiro em área irrigada por gotejamento em Brejões-BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 25., 1999, Franca. **Anais...** Franca, 1999. p. 185.

MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo gat, nos estados do RN, PB e CE**. 1992. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MEDEIROS, J.F. de. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MEDEIROS, J.F. de; GHEYI, H.R. **A qualidade da água de irrigação**. Mossoró, Rn: ESAM, 1994. (ESAM Boletim Técnico, 22).

MIGUEL, A.E. Influência do “déficit” hídrico em diferentes épocas após floração, no desenvolvimento de frutos de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 4., 1976, Caxambu. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1976. p.184-187.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Companhia Nacional de Abastecimento – Departamento do Café, Convênio MAPA – S.P.C./CONAB. **2ª Estimativa da Safra Cafeeira 2003/2004**. Brasília, 2003. 9 p.

MOURA, R. F. Efeitos das lâminas de lixiviação de recuperação do solo e da salinidade da água de irrigação sobre os componentes de produção e coeficiente de cultivo da beterraba. 2000. 119p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, F.A. Efeito da salinidade da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz (*Oriza sativa* L.). 1983. 139p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

OLIVEIRA, L.A.M. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado em diferentes épocas do ano. 2003a. 54p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap. 1, p. 1-35.

OLIVEIRA, P. M. Efeitos da irrigação com água salina sobre algumas características fitotécnicas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 1999. 29p. Projeto para "Exame de Qualificação" (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, P.M. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2003b. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, F.A.M. et al. Solos afetados por sais no Nordeste I: Efeito da relação solo-água nos valores de condutividade elétrica. *Agropecuária Técnica*, Areia, v.2, p.148-154, 1981.

PEREIRA, G.; AGUIAR, J.L.P. A evolução do café nos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Brasília. *Anais...* Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1996. p.499-506.

QUEIROZ, J.E. et al. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H.R; QUEIROZ, J.E; MEDEIROS, J.F. de. (Ed.). **Manejo e controle da agricultura irrigada. XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**, Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap. 3, p.69-112.

RHOADES, J.D. Quality of water for irrigation. **Soil Science**. Baltimor, v.113, n.4, p.277-284, 1972.

RHOADES, J.O.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use of saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SILVA, A.L. et al. Produtividade das três primeiras safras do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Maringá. **Anais... Maringá/MG, 2002b**, p.29-32.

SILVA, E.F.F. **Manejo da Fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

SILVA, M.L.O. et al. Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Maringá. **Anais... Maringá/MG, 2002a**, p.20-23.

SLAVICH, P.G.; PETERSON, G.H. Estimating a electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil: water suspensions and texture. **Australian Journal of Soil Research**, v.31, n.1, p.73-81, 1993.

SOARES, A.R. et al. Avaliação do efeito da irrigação e da fertirrigação com distintas fontes de nitrogênio e potássio na produtividade do cafeeiro, resultados de duas colheitas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Trabalhos Apresentados... Vitória: EMBRAPA, 2001**. CD-ROM.

SOUSA, M.B.A. et al. Estudo do consumo de água do cafeeiro em fase de produção, irrigado por pivô-central, na região norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DO CAFÉ DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: EMBRAPA CAFÉ, 2001. p. 48.

SUAREZ, D.L. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.469-474, 1981.

THOMAZIELLO, R.A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção.** Campinas, 2000. 82 p. (Boletim Técnico IAC, 187).

UM PANORAMA da cafeicultura irrigada no Brasil. **ITEM**, Brasília, n. 48, p. 8-9, set.2000

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.3, p.892-898, 1980.

VICENTE, M.R. et al. Produtividade do café Catuaí IAC 144, sob irrigação por gotejamento e em condições de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Trabalhos Apresentados...** Lavras: PROCAFÉ, 2002. p. 142-143.

VILELA, E.A.; RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 71-78, jan./jun. 1979.

VILELLA, W.M.C. **Diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação no crescimento, produtividade e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2001. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

## ANEXOS

TABELA 1A Resumo da ANAVA das características altura, diâmetro e área foliar. UFLA, Lavras, MG, 2003.....	71
TABELA 2A Resumo da ANAVA da característica altura da planta dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA. Lavras, MG, 2003.....	72
TABELA 3A Resumo da ANAVA da característica altura da planta dentro de cada DAE para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003..	73
TABELA 4A Resumo da ANAVA da característica diâmetro do colo dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.....	74
TABELA 5A Resumo da ANAVA da característica diâmetro do colo dentro de cada DAE para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.....	75
TABELA 6A Resumo da ANAVA da característica área foliar dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003..	76
TABELA 7A Resumo da ANAVA da característica área foliar dentro de cada DAE para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.....	77
TABELA 8A Resumo da ANAVA para salinidade do solo ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas duas camadas avaliadas. UFLA, Lavras, MG, 2003.....	78
TABELA 9A Resumo da ANAVA da salinidade do solo nas duas camadas dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.....	79

TABELA 1A Resumo da ANAVA das características altura, diâmetro e área foliar. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.		
		Altura	Diâmetro	Área foliar
Salinidade (Sal)	5	180,79**	3,20**	1041359,21**
Resíduo 1	18	20,14	0,09	14078,72
DAE	8	1273,13**	12,94**	5087822,79**
Sal.DAE	40	13,74**	0,27**	156975,44**
Resíduo 2	144	1,37	0,016	2893,96
Médias		22,96	3,44	632,68
CV1 (%)		19,55	8,83	18,75
CV2 (%)		5,10	3,63	8,50

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

\*\* não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

TABELA 2A Resumo da ANAVA da característica altura da planta dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA. Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.
DAE (S0)	8	330,94**
Regressão	3	879,28**
Desvio	5	1,94 <sup>ns</sup>
DAE (S1)	8	309,99**
Regressão	3	821,62**
Desvio	5	3,01 <sup>ns</sup>
DAE (S2)	8	277,43**
Regressão	3	733,71**
Desvio	5	3,67 <sup>ns</sup>
DAE (S3)	8	210,08**
Regressão	3	557,20**
Desvio	5	1,80 <sup>ns</sup>
DAE (S4)	8	126,73**
Regressão	3	336,04**
Desvio	5	1,15 <sup>ns</sup>
DAE (S5)	8	86,67**
Regressão	3	229,24**
Desvio	5	1,12 <sup>ns</sup>
Resíduo	144	1,37

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup>não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

TABELA 3A Resumo da ANAVA da característica altura da planta dentro de cada DAE para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.
Salinidade (78 <sup>o</sup> DAE)	5	19,94**
Regressão	3	31,82**
Desvio	2	2,12 <sup>ns</sup>
Salinidade (102 <sup>o</sup> DAE)	5	53,10**
Regressão	3	85,53**
Desvio	2	4,47 <sup>ns</sup>
Salinidade (125 <sup>o</sup> DAE)	5	61,50**
Regressão	3	101,46**
Desvio	2	1,56 <sup>ns</sup>
Salinidade (145 <sup>o</sup> DAE)	5	67,54**
Regressão	3	111,64**
Desvio	2	1,39 <sup>ns</sup>
Salinidade (163 <sup>o</sup> DAE)	5	79,70**
Regressão	3	132,01**
Desvio	2	1,24 <sup>ns</sup>
Resíduo Combinado	41	3,46

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

TABELA 4A Resumo da ANAVA da característica diâmetro do colo dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.
DAE (S0)	8	4,80**
Regressão	2	38,24**
Desvio	6	0,025 <sup>ns</sup>
DAE (S1)	8	3,53**
Regressão	2	28,17**
Desvio	6	0,015 <sup>ns</sup>
DAE (S2)	8	2,30**
Regressão	2	18,33**
Desvio	6	0015 <sup>ns</sup>
DAE (S3)	8	1,65**
Regressão	3	4,35**
Desvio	5	0,031 <sup>ns</sup>
DAE (S4)	8	1,21**
Regressão	3	3,17**
Desvio	5	0,034 <sup>ns</sup>
DAE (S5)	8	0,78**
Regressão	3	2,06**
Desvio	5	0,016 <sup>ns</sup>
Resíduo	144	0,016

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup>não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

TABELA 5A Resumo da ANAVA da característica diâmetro do colo dentro de cada DAE para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L.	Q.M.
Salinidade (57 <sup>o</sup> DAE)	5	0,215**
Regressão	1	1,03**
Desvio	4	0,015 <sup>ns</sup>
Salinidade (78 <sup>o</sup> DAE)	5	0,291**
Regressão	1	1,41**
Desvio	4	0,02 <sup>ns</sup>
Salinidade (102 <sup>o</sup> DAE)	5	0,602**
Regressão	1	2,95**
Desvio	4	0,032 <sup>ns</sup>
Salinidade (125 <sup>o</sup> DAE)	5	1,13**
Regressão	1	5,57**
Desvio	4	0,07 <sup>ns</sup>
Salinidade (145 <sup>o</sup> DAE)	5	1,44**
Regressão	1	7,09**
Desvio	4	0,08 <sup>ns</sup>
Salinidade (163 <sup>o</sup> DAE)	5	1,65**
Regressão	1	8,12**
Desvio	4	0,102 <sup>ns</sup>
Resíduo Combinado	81	0,024

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup>não significativo.

GL – Graus de liberdade

Q.M. – Quadrado médio

TABELA 6A Resumo da ANAVA da característica área foliar dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.
DAE (S0)	8	2003407,80**
Regressão	2	8001805,57**
Desvio	6	3941,88 <sup>ns</sup>
DAE (S1)	8	1714270,32**
Regressão	2	6836510,02**
Desvio	6	6857,08 <sup>ns</sup>
DAE (S2)	8	956725,06**
Regressão	2	2468687,72**
Desvio	6	1547,47 <sup>ns</sup>
DAE (S3)	8	698434,81**
Regressão	2	1861885,71**
Desvio	6	370,265 <sup>ns</sup>
DAE (S4)	8	344675,89**
Regressão	2	915996,56**
Desvio	6	1883,49 <sup>ns</sup>
DAE (S5)	8	185186,13**
Regressão	2	492490,64**
Desvio	6	803,423 <sup>ns</sup>
Resíduo	144	2893,95

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup>não significativo.

GL – Graus de liberdade

Q.M. – Quadrado médio

TABELA 7A Resumo da ANAVA da característica área foliar dentro de cada DAE para estudo de regressão. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.
Salinidade (78 <sup>0</sup> DAE)	5	1094,56**
Regressão	1	46483,41**
Desvio	4	2456,8 <sup>ns</sup>
Salinidade (102 <sup>0</sup> DAE)	5	221211,14**
Regressão	1	1071156,65**
Desvio	4	13634,79 <sup>ns</sup>
Salinidade (125 <sup>0</sup> DAE)	5	512834,04**
Regressão	1	2518045,65**
Desvio	4	15845,59 <sup>ns</sup>
Salinidade (145 <sup>0</sup> DAE)	5	705913,33**
Regressão	1	3485310,69**
Desvio	4	16234,19 <sup>ns</sup>
Salinidade (163 <sup>0</sup> DAE)	5	846866,63**
Regressão	1	4159208,63**
Desvio	4	26225,24 <sup>ns</sup>
Resíduo Combinado	94	4136,71

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

TABELA 8A Resumo da ANAVA para salinidade do solo ( $\text{dS m}^{-1}$ ) nas duas camadas avaliadas. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L.	Q.M.	
		CE <sub>es</sub> (0 - 10 cm)	CE <sub>es</sub> (10 - 20 cm)
Salinidade (Sal)	5	203,90**	148,47**
Resíduo 1	18	6,92	4,99
DAE	7	258,00**	188,44**
Sal-DAE	35	13,95**	9,96**
Resíduo 2	126	2,26	1,78
Médias		5,32	4,92
CV1 (%)		49,46	45,46
CV2 (%)		28,26	27,10

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

\*\* não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

TABELA 9A Resumo da ANAVA da salinidade do solo nas duas camadas dentro de cada salinidade para estudo de regressão. UFPA, Lavras, MG, 2003.

Fator de variação	G.L	Q.M.	
		CE <sub>es</sub> (0-10 cm)	CE <sub>es</sub> (10-20 cm)
DAE (S0)	7	0,34 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
Regressão	1	2,30 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>
Desvio	6	0,023 <sup>ns</sup>	0,075 <sup>ns</sup>
DAE (S1)	7	18,44 <sup>**</sup>	14,47 <sup>**</sup>
Regressão	1	124,86 <sup>**</sup>	95,37 <sup>**</sup>
Desvio	6	3,59 <sup>ns</sup>	5,62 <sup>ns</sup>
DAE (S2)	7	35,49 <sup>**</sup>	27,51 <sup>**</sup>
Regressão	1	238,97 <sup>**</sup>	185,26 <sup>**</sup>
Desvio	6	7,84 <sup>ns</sup>	5,91 <sup>ns</sup>
DAE (S3)	7	75,40 <sup>**</sup>	54,29 <sup>**</sup>
Regressão	2	519,95 <sup>**</sup>	376,78 <sup>**</sup>
Desvio	5	1,57 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
DAE (S4)	7	98,80 <sup>**</sup>	61,43 <sup>**</sup>
Regressão	2	681,04 <sup>**</sup>	405,42 <sup>**</sup>
Desvio	5	2,11 <sup>ns</sup>	2,91 <sup>ns</sup>
DAE (S5)	7	99,30 <sup>**</sup>	80,19 <sup>**</sup>
Regressão	2	691,53 <sup>**</sup>	553,57 <sup>**</sup>
Desvio	5	0,68 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>
Resíduo	126	2,26	1,78

<sup>\*\*</sup>significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup>não significativo.

GL - Graus de liberdade

Q.M. - Quadrado médio

