

JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO

**DINÂMICA DE SAIS EM CULTIVO ROTACIONADO COM FEIJÃO-CAUPI E
MILHO VERDE IRRIGADO COM ÁGUA SALINA**

RECIFE - PE

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DINÂMICA DE SAIS EM CULTIVO ROTACIONADO DE FEIJÃO-CAUPI E
MILHO VERDE IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de DOUTOR.

Orientador: **Prof. Dr. ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA**

RECIFE - PE

2013

Ficha Catalográfica

C331d Carvalho, José Francisco de
Dinâmica de sais em cultivo rotacionado com feijão-caupi e milho verde irrigado com água salina / José Francisco de Carvalho. -- Recife, 2013.
104 f. : il.

Orientador (a): Ênio Farias de França e Silva.
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, 2013.
Referência.

1. Balanço de sais 2. Irrigação 3. Lixiviação 4. Solo – Salinização 5. *Vigna unguiculata* 6. *Zea mays* I. Silva, Ênio Farias de França, Orientador II. Título

CDD 630

**DINAMICA DE SAIS EM CULTIVO ROTACIONADO DE FEIJÃO-CAUPI E
MILHO VERDE IRRIGADO COM ÁGUA SALINA**

José Francisco de Carvalho

Tese defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2013 pela Banca Examinadora

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr.
Departamento de Tecnologia Rural - UFRPE

Avaliadores:

Edson Alves Bastos, Pesquisador, Dr.
Centro Nacional de Pesquisa do Meio Norte - EMBRAPA MEIO NORTE

José Nildo Tabosa, Pesquisador, Dr.
Instituto agronômico de Pernambuco - IPA

Elvira Maria Regis Pedrosa, Prof^a. PhD
Departamento de Tecnologia Rural - UFRPE

Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros, Prof. Dr.
Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental - UNIVASF

“Sonhe alto... Queira o melhor do melhor... Se pensarmos pequeno... Coisas pequenas teremos... Mas, se desejarmos fortemente o melhor e, principalmente, lutarmos pelo melhor... O melhor vai se instalar em nossa vida. Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do tamanho da minha altura”.

Carlos Drummond de Andrade

Minha vida é andar por esse país
Pra ver se um dia descanso feliz
Guardando recordações das terras onde passei
Andando pelos sertões e os amigos que lá deixei

Luiz Gonzaga/Hervê Cordovil

O insucesso é apenas uma oportunidade
para recomeçar com mais inteligência.

Henry Ford

Aos meus pais Francisco Emídio e
Francisca Minervina com todo amor
e pelo esforço que os fazem por mim,
para que eu alcance o melhor do melhor

OFEREÇO

Aos meus irmãos João, Raimundo e Cícero.
Às minhas irmãs Maria, Rosimar e Josefa
Cleide.

Aos meus Sobrinhos e sobrinhas
Aos meus Cunhados e Cunhadas

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À natureza pela inspiração que me dá e por me dar forças para lutar e ser sempre um vitorioso diante das dificuldades;

A meus pais Francisco Emídio e Francisca Minervina por servirem como inspiração de luta, pelo exemplo e valor a família, pelos conselhos e ensinamentos que jamais deixaram de nos proporcionar;

Aos meus queridos irmãos e irmãs João, Raimundo, Cícero e Maria, Rosimar e Josefa Cleide, meus fiéis companheiros, que sempre acreditam nas minhas vitórias;

Aos meus sobrinhos e sobrinhas, cunhados e cunhadas pelo apoio e pelo incentivo que sempre me proporcionaram;

Ao prof. Ênio Farias, pela confiança, pela parceria neste projeto, pela paciência, pela orientação, pelo companheirismo e pela amizade, isto é muito gratificante;

À Embrapa Meio Norte pela força e apoio prestado sempre que precisei;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade em realizar o doutorado;

A CAPES pela concessão do auxílio financeiro;

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade/CNPq pelo apoio financeiro;

Ao amigo de residência Júlio Nascimento pela amizade e pelos momentos de convivência de descontração;

Aos professores do programa da Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelo ensinamento transmitido e pela disponibilidade em nós atender;

Ao professor Manasses e João Audifax, pela amizade, sugestões essenciais e pelas discussões a respeito da ciência, sempre que precisei do seu apoio estiveram disponíveis para transferir suas experiências;

À professora Elvira pelo apoio prestado com relação à estatística;

Aos companheiros e colegas de minha turma: Zé Aécio, Albert, Rogério, Carmen e Adriana Guedes; e aos demais colegas do mestrado e doutorado em Engenharia Agrícola pelo companheirismo, alegria e descontração;

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia Rural, inclusive Antônio Granja Júnior pela sua presteza, amizade e pelo prazer em nos apoiar;

Para não pecar por omissão, deixo aqui a minha mais profunda gratidão a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este feito.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	x
GENERAL ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	12
CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA	15
Balanço de sais no solo	16
Irrigação no mundo, no Brasil e no Nordeste	18
Qualidade da água para irrigação	19
Cultura do feijão-caupi	21
Cultura do milho	22
Referências Bibliográficas	24
CAPÍTULO II: BALANÇO DE SAIS EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO COM ROTAÇÃO CULTURAL DE MILHO VERDE E FEIJÃO-CAUPI NO LITORAL PERNAMBUCANO	32
Resumo	33
Abstract	33
Introdução	34
Material e Métodos	35
Resultados e Discussão	40
Conclusões	74
Referências Bibliográficas	75
CAPÍTULO III: MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA APLICANDO FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO EM CULTIVOS ROTACIONADOS DE FEIJÃO-CAUPI E MILHO NO LITORAL PERNAMBUCANO	78
Resumo	79
Abstract	79
Introdução	80

Material e Métodos	82
Resultados e Discussão	85
Conclusões	99
Referências Bibliográficas	99
CONSIDERAÇÕES FINAIS	104

RESUMO GERAL

DINÂMICA DE SAIS EM CULTIVO ROTACIONADO COM FEIJÃO-CAUPI E MILHO VERDE IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Autor: José Francisco de Carvalho

Orientador: Ênio Farias de França e Silva

O processo de salinização dos solos ocorre por diversos fatores como a origem litológica da sua formação e pela aplicação de irrigações manejadas de forma irregular bem como a utilização de água de qualidade inferior. Na presente pesquisa avaliou-se o efeito da irrigação com água salina e de frações de lixiviação sobre a dinâmica da distribuição, absorção pelas plantas e a saída de sais do perfil do solo, bem como a interferência na produtividade no cultivo de feijão-caupi e milho. O estudo foi realizado na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Doutor Ronaldo Freire de Moura, no Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5 com quatro repetições, aplicando dois níveis de salinidade e cinco frações de lixiviação. Analisaram-se: o balanço de sais nos fertilizantes, na água de irrigação, no volume lixiviado e no consumo pelas plantas. Com relação aos cultivos, foram avaliados para a cultura do feijão, o número de vagens por planta, massa fresca de vagens, massa seca de vagens, massa de 100 grãos, comprimento de vagens, produtividade de grãos, número de plantas da parcela, biomassa fresca de plantas por hectare, biomassa fresca da parte aérea por planta, biomassa seca da parte aérea por planta; para a cultura do milho, número de espigas por parcela, diâmetro de espigas sem palhas, diâmetro de espigas com palhas, massa fresca de palhas de espigas, massa fresca de sabugos, produtividade de grãos hidratados, produtividade de grãos desidratado; e para ambas culturas, eficiência de uso da água e índice de colheita. As frações de lixiviação de 10%, 15% e 20% proporcionaram retiradas de sais do solo. Houve incremento das variáveis de cultivo quando se aplicou a fração de lixiviação de 10%, entretanto, a adição de lixiviação em 20% reduziu a produtividade dos cultivos.

Palavras chave: balanço de sais, irrigação, lixiviação, salinização do solo, *Vigna unguiculata*, *Zea mays*.

GENERAL ABSTRACT

DYNAMICS OF SALTS IN ROTATIONAL CROP COWPEA AND GREEN CORN IRRIGATED WITH SALINE WATER

Author: José Francisco de Carvalho

Advisor: Ênio Farias de França e Silva

The process of soil salinization occurs by several factors such as the litolic origin of their training and application of irrigation handled improperly and the use of lower quality water. In the present study it was assessed the effects of irrigation with saline water and fractions of leaching on the dynamics of distribution, uptake by plants and leaving salts of the soil profile as well as interference in crop productivity in cowpea and maize. The study was conducted at the Experimental Station of Irrigated Agriculture Dr. Ronaldo Freire de Moura, in the Department of Rural Technology, Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE. The experimental design was completely randomized in a 2x5 factorial arrangement with four replications, applying two levels of salinity and five fractions leaching. It was analyzed: the balance of salts based on the input of fertilizers, irrigation and salts by leaching out and absorbed by crops. Regarding crop it was rated the number of pods per plant, fresh weight of pods, dry pods, weight of 100 grains, length of pods, yield of grain, number of plants per plot, fresh biomass of plants per hectare, fresh shoot biomass plant, dry shoot biomass plant in cowpea crops; number of ears per plot, diameter of ears without straw, straw diameter with ears, fresh straw ear, fresh weight cobs, grain yield hydrated, dehydrated grain yield in maize cultivation; water use efficiency, harvest index for both cowpea and maize. The fractions of leaching 10%, 15% and 20% removed salts from the soil. These was increment on crop variable, when applying 10% leaching fraction, however, the addition of 20% leaching reduced productivity of crops.

Key words: salts balance, irrigation, leaching, soil salinization, *Vigna unguiculata*, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento demográfico acelera os processos de degradação ambiental, porque cresce a demanda por alimentos e aumenta a contaminação das águas. De acordo com estudos da Organização das Nações Unidas – ONU (2012), a população mundial é de aproximadamente 7 bilhões de pessoas no mundo. Esse é um problema que preocupa as instituições de pesquisas, visto que a demanda por alimento é o principal problema que afeta o planeta. Sendo assim, cabe ao setor agropecuário produzir alimentos em quantidade e qualidade. A inserção de novas áreas impróprias para o cultivo no setor produtivo se apresenta como nova alternativa, desde que se disponha de tecnologias e conhecimentos necessários para sua exploração. Dentre as tecnologias disponíveis destaca-se a irrigação, sobretudo em regiões áridas e semiáridas.

Entretanto, há risco de salinização quando as irrigações são inadequadas e também pela própria origem litológica e irrigações com água de qualidade inferior, que afetam os solos pela presença de cátions e ânions, devido à drenagem insuficiente, principalmente em solos com baixa condutividade hidráulica (ORCUTT e NILSEN, 2000). A geomorfologia também tem papel importante, uma vez que a existência de depressões ou a baixa declividade pode promover a acumulação dos sais, bem como a baixa umidade atmosférica, associada a uma elevada demanda evaporativa das regiões áridas e semiáridas, desse modo, a lixiviação nem sempre é suficiente (GHEYI, 2000). Além dos fatores naturais, a ação antrópica pode incrementar a salinização.

Estudos da FAO (2005) mostraram que o problema da salinidade no mundo ocorre em cerca de 397 milhões de hectares. De 250 milhões de hectares irrigados no mundo, aproximadamente 50% já apresentam problemas de salinização e 10 milhões de hectares são abandonados todo ano. No Nordeste do Brasil, grande parte dos solos apresenta problema de salinidade e ou alcalinidade. Os estados que apresentam maior área salinizada são a Bahia, com aproximadamente 44%, seguido do Ceará com 25,5% (FAGERIA e GHEYI, 1997) e a Paraíba, que no final da década de 80 possuía cerca de 40% da área irrigada afetada por sais e, deste total, aproximadamente 80% apresentava problema de caráter sódico ou salino-sódico no Perímetro Irrigado de São Gonçalo (CORDEIRO et al., 1988).

Sem a adoção de tecnologias adequadas nessas áreas, a tendência do problema é se agravar ainda mais, tendo em vista a baixa eficiência no uso da água, simultaneamente com um consumo crescente pressionado pelo aumento da demanda de alimentos, tanto para consumo interno quanto para exportação.

Os solos apresentam diferentes formas de disponibilizar elementos minerais para as espécies vegetais, que por sua vez, são dependentes dos nutrientes disponíveis. Tais nutrientes são resultantes do intemperismo das rochas e das propriedades químicas e físicas do solo, em especial da quantidade de argila e matéria orgânica (SANTOS, et al., 2009)

Embora a fonte principal e direta de todos os sais presentes no solo seja a intemperização das rochas, são raros os exemplos em que esta fonte tenha provocado diretamente problemas relacionados com a salinidade. Os solos situados em regiões semiáridas quando submetidos ao uso da irrigação como alternativa de melhorar a produção, apresentam grandes riscos de se tornarem salinos, devido altas taxas de evaporação e baixos índices pluviométricos. Estudos científicos têm demonstrado que práticas convencionais destinadas à solução do problema da salinização são onerosas e, às vezes, inviáveis sob o ponto de vista econômico. Desse modo, espécies tolerantes à salinidade e técnicas de lixiviação de sais do solo, passam então, a se constituírem em alternativas viáveis para a convivência com problemas de salinidade induzida, além de reincorporarem solos salinizados ao processo de produção agrícola.

Desde a década de 70 do Século XX vem sendo desenvolvidos estudos sobre os efeitos da salinidade do solo e sua interferência no rendimento das culturas. Merece destaque na literatura especializada, a ênfase na classificação das culturas com respeito na tolerância à salinidade relativa, sendo assim denominadas por depender das condições ambientais e da planta. Essas condições estão relacionadas à espécie, sua fase fenológica e a seu estado nutricional, embora possa variar entre cultivares de uma mesma espécie (MAAS e HOFFMAN 1977; MAAS, 1984).

Nas culturas voltadas para o agronegócio brasileiro, a pesquisa científica apresenta maior atuação, proporcionando melhores recomendações técnicas, no entanto, deve-se direcionar também a pesquisa para amparar todos os pequenos agricultores, investigando especialmente a região semiárida, por apresentar baixos índices de desenvolvimento humano e baixa produtividade agrícola (PAZ et al., 2000) visto que, o primeiro índice é afetado de forma acentuada pelo segundo, devido à ausência de técnicas que contribuam adequadamente para uma elevada produção.

A irrigação é uma das mais importantes tecnologias que garante melhor produtividade e qualidade dos produtos, bem como expansão de fronteiras agrícolas, mas quando manejada de forma inadequada seus efeitos são danosos. Em geral, a agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. Embora a importância da qualidade só tenha sido reconhecida a partir do início do século passado, isso está mudando devido a redução na

disponibilidade de água de baixa salinidade e de fácil utilização, em função da maior demanda por água potável, restando como alternativa para irrigação o uso de águas de qualidade inferior (GLENN et al., 1999; AYERS e WESTCOT, 1999). Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis, é fator limitante para algumas culturas.

O uso de água de irrigação de baixa qualidade, associado ao manejo inadequado, além de contribuir diretamente para o acréscimo da concentração salina no solo, pode provocar a elevação do nível do lençol freático e em consequência a ascensão capilar, culminando com o excesso de água e sais na zona radicular (PIZARRO, 1985; AYERS e WESTCOT, 1999; BERNARDO, et al. 2010).

A lixiviação de sais em ambiente salino para a prevenção do acúmulo excessivo em terras irrigadas é essencial para produção e obtenção de colheitas sustentáveis. Durante as duas últimas décadas, experiências práticas resultantes de pesquisa científica realizadas na África do Sul, têm contribuído de forma sustentável tanto para o controle da salinidade do solo como para melhora da eficiência de uso da água na agricultura irrigada e também no aperfeiçoamento de aplicação dessa água para prevenir o déficit durante a colheita (CROSBY e CROSBY 1999; ANNANDALE et al. 1999).

A importância da lixiviação de sais da zona radicular das culturas desempenha importante papel, visto que a salinidade reduz o crescimento das plantas pelo resultado do aumento do potencial osmótico induzindo a um aumento de tensão e dificultando a absorção de água e íons específicos pela planta, provocando efeitos de deficiência nutricional ou toxicidade (BARNARD et al., 2010).

Nesse contexto, realizou-se este estudo incluindo plantas com diferentes tolerâncias à salinidade, objetivando acompanhar o processo de salinização do solo ao longo de ciclos de cultivos sucessivos de feijão-caupi e milho verde em rotação irrigado com água salina; verificar o efeito de aplicações de frações de lixiviação sobre o processo de salinização e determinar os efeitos sobre a produtividade e componentes de produção das culturas implantadas.

CAPITULO I

REVISÃO DE LITERATURA

REVISÃO DE LITERATURA

Balanço de sais no solo

A salinização de áreas cultivadas é um fenômeno crescente em todo o mundo, destacando essa ocorrência de forma acentuada nas regiões áridas e semiáridas, em decorrência de condições climáticas e da agricultura irrigada. A adição de fertilizantes via água de irrigação é uma tecnologia que, se utilizada numa forma de manejo inadequada, é fator contribuinte para o aumento de áreas com altas concentrações salinas. O excesso de sais no solo prejudica sua estrutura, porque a absorção de sódio proveniente de águas dotadas de elevados teores deste cátion poderá provocar a dispersão das frações de argila e, conseqüentemente, diminuir a permeabilidade do solo (LIMA JÚNIOR e SILVA, 2010).

O processo de remoção dos sais da rizosfera para manter a solução do solo a um nível de salinidade compatível com aquele tolerado pela cultura presente é dependente do balanço de sais dessa área (RHOADES e LOVEDAY, 1990; VAN HOORN e VAN ALPHEN, 1994). Para se realizar o balanço de sais do solo é necessário que seja respeitado e incrementado fatores como a evapotranspiração de referência local e adicionada a essa, uma fração de água a mais na lâmina de irrigação. A fração de lixiviação é fator importante na prevenção do aumento da salinização de uma área irrigada.

A adição de água para lixiviar os sais para que os cátions e ânions sejam levados a maior profundidade em relação à rizosfera, depende da concentração desses cátions e ânions na água de irrigação; do solo e da água subterrânea; da tolerância das culturas a serem exploradas; das condições climáticas e do manejo do solo e da água (HOFFMAN, 1981).

De acordo com RHOADES (1974), a necessidade de lixiviação de sais pode ser calculada a partir da salinidade da água de irrigação e da salinidade tolerada pela cultura. A ocorrência de precipitações é outro fator que contribui para complementar a lixiviação dos sais (MONTEIRO et al., 2009).

O manejo da salinidade na agricultura irrigada é dependente da estimativa precisa dos termos de balanço hídrico na zona radicular (MONTEIRO et al., 2009; CARVALHO, 2009). Dentre as metodologias de avaliação dos balanços de água e sais na zona não saturada, destacam-se os lisímetros, que permitem determinar a evapotranspiração real de uma cultura em desenvolvimento e a evapotranspiração de referência, ou para determinar a evaporação do solo nu, segundo Aboukhaled et al. (1982), além da contabilização dos termos de drenagem do perfil com precisão (SILVA et al., 2003).

Mais recente, a modelagem matemática também constitui-se em uma ferramenta viável para a estimativa de balanços de sais no solo, e está cada vez mais utilizada no estabelecimento de políticas protetoras do ambiente. Vários modelos foram desenvolvidos e validados em várias regiões do planeta para a simulação do transporte de cátions e ânions no solo (MONTENEGRO et al., 2002).

Para se realizar o balanço de sais do solo é feita uma relação entre a lâmina percolada abaixo da zona radicular (L_x) e água total aplicada (L_n), ou seja, é igual à relação entre a concentração de sais da água aplicada e a água drenada abaixo da zona radicular, correspondendo à fração de lixiviação (FL) (RICHARDS, 1954; RHOADES e LOVEDAY, 1990; VAN HOORN e VAN ALPHEN, 1994). Nesse caso, as condições a que se referem os citados autores consideram apenas a contribuição não apreciável de sais pela dissolução de minerais do solo ou sais precipitados, ou perdas de sais solúveis por processos de precipitação e remoção da cultura, aplicação uniforme de água no campo e a profundidade do lençol freático sejam suficientes para evitar a introdução de sais na zona radicular por processos de ascensão capilar.

Estudando as características químicas e salino-sódicas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, dos solos no Perímetro Irrigado de Califórnia, SE, Aguiar neto et al. (2007) constataram que a maior concentração de sódio, cálcio, magnésio, condutividade elétrica e PST se encontravam na camada superficial do solo onde se concentra o sistema radicular das plantas. Segundo esses autores, isso ocorre devido ao manejo inadequado da aplicação da lixiviação e da irrigação, assim, os sais ficam concentrados na rizosfera prejudicando o rendimento das culturas.

Sob condições de elevado pH do solo, Richards (1954) indica a presença de dispersão das argilas reduzindo a permeabilidade do solo (SHAINBERG e LETEY, 1984). Outro inconveniente com a elevação do pH, é a alteração da disponibilidade de nutrientes no solo (BAILEY, 1996), podendo levar as plantas à deficiência ou ao excesso de determinados macro ou micronutrientes.

Em estudos realizados por meio da aplicação de vinhaça e impactos sobre as propriedades do solo e contaminação do lençol freático, Silva et al. (2007) verificaram que a vinhaça pode promover melhoria na fertilidade do solo, porque quando o solo é submetido a quantidades desbalanceadas desses elementos minerais, eles podem ser lixiviados sobretudo, o nitrato e do potássio. A vinhaça ainda pode promover alterações nas propriedades físicas do solo. Essas alterações podem melhorar a agregação, ocasionando a elevação da capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de lixiviação

desses íons e contaminar as águas subterrâneas quando em concentrações elevadas. A vinhaça também pode promover a dispersão de partículas do solo, reduzir a taxa de infiltração de água, elevando o escoamento superficial e promover a contaminação de águas superficiais. Pelo fato de haver diferentes tipos de solos existe consenso de que sua disposição deve ser efetuada de acordo com a capacidade de cada solo em trocar e reter íons a fim de que esse problema seja evitado (SILVA et al., 2007).

A disponibilidade de dejetos e cama de aviário tem aumentado de maneira semelhante, devido à proibição de uso desses produtos na ração animal. Assim, esses dejetos tiveram que ser direcionados para outros fins, dentre eles, a produção agrícola é uma opção, devendo ser aplicados como fertilizantes (GEBRIM et al., 2008). Estudo conduzido em Latossolos Vermelho-Amarelos, um de textura média e outro de textura argilosa, utilizando colunas de PVC com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro mostraram que o sódio foi o mais lixiviado, seguido pelo cálcio, potássio e magnésio respectivamente. A maior lixiviação do sódio reflete sua baixa capacidade de adsorção pelos colóides do solo. Segundo os autores, a maior mobilidade do cálcio, foi provavelmente devido à presença de anions com os quais ele forma complexos mais estáveis.

Irrigação no mundo, no Brasil e no Nordeste

A irrigação é uma tecnologia essencial quando se pretende aumentar a produtividade, a qualidade dos produtos e também se pretende produzir em diferentes épocas do ano. Embora, existam algumas implicações como: exigência de um manejo adequado independente do sistema a ser utilizado, monitoramento constante do solo e da água a ser utilizada para irrigar. No mundo, a irrigação é responsável por aproximadamente 44% do total de alimentos produzidos e consome cerca de 2.810 km³ de água na agricultura irrigada, o equivalente a aproximadamente 70,2% da água consumida (CHRISTOFIDIS, 2008).

A área cultivada decorrente de solos equipados com sistemas de irrigação no mundo está estimada em cerca de 340 milhões de hectares (MOLDEN, 2007), já o cultivo de sequeiro está estimado em 860 milhões de hectares, equivalendo a 71,67% das terras cultiváveis do mundo, embora produza apenas 56% de toda a produção (MOLDEN, 2007). No Brasil, a relação entre a área irrigada e a área plantada ainda é baixa, mas a participação da produção das lavouras irrigadas já é expressiva. Estudos mostram que cada hectare irrigado equivale a três hectares de sequeiro em produtividade física e a sete em produtividade econômica (CHRISTOFIDIS, 2008).

Estimativas mostram que 4.212.000 hectares estão equipados com irrigação nas regiões do Brasil em 2010, isto, corresponde a 7,96% do total da área plantada (MINISTERIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2006). O nordeste brasileiro tem uma área estimada em 732.840 mil hectares equipados com sistemas de irrigação, equivalendo a 6,12% da área plantada, e o Estado de Pernambuco com 98.880 hectares irrigados, equivalentedo a 8,85% do total da área plantada (CHRISTOFIDIS, 2006).

Qualidade da água para irrigação

A agricultura irrigada é dependente do fornecimento de água, no entanto, essa água disponível deve ser em quantidade e qualidade adequada aos cultivos, embora, sua qualidade durante muito tempo tinha sido desprezada, porque no passado, as fontes eram abundantes e de fácil utilização (AYERS e WESTCOT, 1999). Com o passar do tempo essa situação foi se alterando em diversas regiões do planeta. Tal situação exigiu a inclusão de águas de qualidade inferior para a utilização em irrigação, sendo essencial o conhecimento das características físicas e químicas do solo e da água, bem como a tolerância da cultura (SANTOS et al., 2010), assim, problemas futuros seriam evitados, ou pelo menos amenizados, apartir de um planejamento efetivo.

A adequação da água de irrigação é dependente do teor total e também do tipo de sais. Assim, à proporção que o teor total aumenta, os problemas do solo e das culturas se agravam, daí se fazem necessárias práticas especiais de manejo, para os cultivos manterem seus rendimentos aceitáveis (MEDEIROS, 1992; ASSIS JÚNIOR et al., 2007; BEZERRA et al., 2010; SILVA et al., 2011). Os problemas resultantes da salinidade dos sais no solo e na água dificultam a disponibilidade do fornecimento às plantas de forma a afetar seu rendimento, assim como, teores de sódio relativamente altos em conjunto com baixos teores de cálcio no solo e na água, ocasionam redução da velocidade de infiltração da água de irrigação através da superfície do solo (RICHARDS, 1954; PIZARRO, 1996).

Para a obtenção de êxito na adequação de uma irrigação a diferentes condições de qualidade da água, se faz necessário à submissão dessa água à avaliação (MEDEIROS, 1992; SILVA JÚNIOR et al., 1999; MEDEIROS et al., 2003). Se a avaliação de sua qualidade não for respeitada, a utilização trará consequentes efeitos indesejáveis na condução dos cultivos, além de servir como veículo de contaminação da população no momento da ingestão dos alimentos (MANTOVANI et al., 2006), com referência a qualidade de água de irrigação, dá a entender que se trata de água de qualidade com relação à salinidade, entretanto, existem

outros critérios de qualidade que são considerados como, por exemplo: os aspectos sanitários possuem fundamental importância, em se tratando de irrigação localizada (PIZARRO, 1996). Nem sempre a água para irrigação é definida com perfeição (AYERS e WESTCOT, 1999; BERNARDO et al., 2010; ALMEIDA, 2010; SILVA et al., 2011), muitas vezes, a referência é seu nível salino, no entanto, para se ter uma correta interpretação da qualidade da água utilizada para irrigar, deve ser analisados parâmetros que relacionam seus efeitos sobre o solo, a cultura e o manejo da irrigação (CHRISTIANSEN et al., 1977).

Em uma avaliação de água para irrigação, considerando as características que determinam sua qualidade, Richards (1954) e Silva et al. (2011) destacaram que deveria ser analisadas: a concentração de sais solúveis, concentração relativa de sódio com relação a outros cátions, a concentração de boro e outros elementos que podem ser tóxicos além de concentrações de bicarbonatos devido à possibilidade de proporcionar a precipitação de cálcio e magnésio. Em complementação, Mantovani et al. (2006) destacaram que a qualidade de água é afetada pela concentração de bicarbonatos, concentração de íons de Fe^{2+} , presença de elementos tóxicos e contaminação por agentes patogênicos. Para Bernardo et al. (2010) e Silva et al. (2011), devem ser incluídos também na avaliação parâmetros básicos como: capacidade de infiltração do solo, aspecto sanitário e aspecto de entupimento de emissores.

Entre os diversos modelos existentes na literatura para classificação de água de irrigação podem ser referenciados: o modelo adotado pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (1974); Wilcox (1948); Gilbert e Ford (1986); Richards (1954); Thorne e Peterson (1954); Doneen (1975); Scofield (1936); Ayers e Westcot (1999); Rhoades et al. (2000); Maia et al. (1998). Embora estes modelos apresentem divergência em alguns parâmetros inseridos em seus estudos, eles são referência nos estudos atuais.

As águas apresentam grande variação em sua composição e na concentração de sais dissolvidos. Alguns destes constituintes podem ser benéficos às plantas, outros em moderadas concentrações podem apresentar algum efeito desfavorável às plantas ou ao solo de forma a interferir no crescimento vegetal e provocar efeitos nocivos no solo (WILCOX, 1948). Dentre os mais importantes constituintes, são incluídos os cátions cálcio, magnésio e sódio, e os ânions sulfato, bicarbonato e cloro, além de outros usualmente em menor concentração como: potássio, carbonato, nitrato, sílica e boro.

Cultura do feijão-caupi

Em 2003 a área plantada com feijão da espécie *vigna unguiculata* no mundo era de aproximadamente 9,8 milhões de hectares, com produção de 3,72 milhões de toneladas de grãos secos, apresentando rendimento médio de 378,8 kg ha⁻¹ (FAO, 2007). Destacando-se à Índia como maior produtor mundial de feijão em cultivo de sequeiro no ano de 2010, com aproximadamente 4,8 milhões de toneladas, e o Brasil em segundo, com aproximadamente 3,2 milhões de toneladas (FAO, 2010). Por ser uma espécie bem adaptada às condições semiáridas, o feijão-caupi consegue se desenvolver em condições adversas de seca, salinidade, temperaturas elevadas e alta insolação.

O feijoeiro da espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp é amplamente cultivado nas regiões áridas e semiáridas do planeta, constituindo-se em um dos principais componentes da dieta alimentar dessas populações cujos grãos são de alto valor nutricional, devido ao seu elevado teor proteico (LIMA et al. 2007). No Brasil sua área cultivada é de aproximadamente 3.273,6 mil hectares, com produtividade de 896 kg por hectare e produção de aproximadamente 2.932,8 mil toneladas. No Nordeste brasileiro, a área plantada, produtividade e produção dessa cultura são de 1.525,9 mil hectares, 197 kg ha⁻¹ e 300,4 mil toneladas, respectivamente. No estado do Pernambuco, sua área plantada, a produtividade e produção respectivamente, representam 229,7 mil hectares, 180 kg por hectare e 41,3 mil toneladas (CONAB, 2011).

O feijão vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-caupi, macassar e/ou feijão-de-corda, é uma leguminosa herbácea cultivada principalmente por agricultores familiares, seja como cultura de subsistência ou comercial nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, e recentemente vem crescendo muito seu cultivo na região Centro-Oeste do Brasil, principalmente, no Estado de Mato Grosso, gerando emprego e renda.

Esses fatores de estresse interagem entre si, determinando respostas complexas na planta (RIBEIRO, 2002). Em estudos realizados sobre o consumo d'água do feijão-caupi vigna, variedade BR17 Gurguéia, no vale do Gurguéia-PI, Bastos et al. (2008) verificaram que o estágio fenológico de maior demanda hídrica pela cultura foi o reprodutivo com 5,4 mm dia⁻¹. Com a prática da irrigação a cada dois dias, os coeficientes da cultura variaram de 0,8 no estágio inicial; 0,8 a 1,1 no estágio de crescimento; 1,1 a 1,4 no estágio reprodutivo e de 1,4 a 0,3 no estágio final.

Embora alguns pesquisadores considerem como sendo uma cultura moderadamente tolerante ao estresse salino, estudos têm mostrado que o grau de tolerância do feijão-caupi ao estresse salino varia entre genótipos, devido recente introdução do melhoramento genético

(DANTAS et al. 2002). Ayers e Westcot (1999) citam com salinidade limiar do feijão 4,9 dS m⁻¹ no extrato de saturação e na água de 3,3 dS m⁻¹, considerando uma fração de lixiviação de 15%.

Cultivando feijão-caupi em Fortaleza CE e irrigando as plantas com água de poço profundo com água de 0,8 dS m⁻¹ durante todo o ciclo, água salina com 5,0 dS m⁻¹, com aplicação iniciada após a germinação e permanecendo até o final do ciclo, aplicação de água salina da semente até 22 dias após o plantio, água salina aplicada de 23 a 42 DAP e água salina aplicada de 43 a 62 DAP, (NEVES et al., 2008) verificaram que as plantas irrigadas com água salina de 5,0 dS m⁻¹ com aplicação iniciada após a germinação e permanecendo até o final do ciclo, água salina da semente até 22 dias após o plantio, água salina aplicada de 23 a 42 DAP e água salina aplicada de 43 a 62 DAP, não afetou os aspectos quantitativos analisados e a qualidade nutricional, em termos de teor de proteína e de K, Ca, P, N, Fe, Mn, Cu e Zn nos grãos, porém, foram verificados efeitos significativos dos tratamentos sobre os teores de K, Ca, Na, Cl e Mn no pericarpo. O aumento nos teores de Na tanto nos grãos como no pericarpo e de Ca nos pericarpos das plantas irrigadas com água salina de 5,0 dS m⁻¹ e o aumento no teor de Cl no pericarpo, é supostamente devido um mecanismo de retenção nesse tecido vegetal, evitando maior acúmulo desses íons nas sementes.

Estudando o efeito da irrigação com água salina de 0,8 dS m⁻¹ e 5 dS m⁻¹ sobre a produtividade de feijão-caupi, (ASSIS JÚNIOR et al., 2007) verificaram que as variáveis produtividade de grãos, componentes de produção e índice de colheita e crescimento vegetativo foram reduzidas com a salinidade, porém a salinidade não influenciou os aspectos qualitativos das vagens e sementes.

Cultura do milho

A cultura do milho *Zea mays* (L) é cultivada em todo o Brasil, sendo de grande utilidade tanto na alimentação animal de forma direta, como na alimentação humana de forma direta e indireta, ou seja, através de subprodutos como o leite, o ovo, as carnes e bolos. Cerca de 65% da produção nacional de grãos dessa cultura é utilizado para a alimentação animal e 11% pela indústria para diversos fins (elementos espessantes e colantes, na produção de óleos e etanol). No Brasil, a área cultivada é de aproximadamente 13.8 milhões de hectares, a produtividade é de 4.598 kg por hectare e a produção de aproximadamente 69.480,5 mil toneladas. O Nordeste brasileiro possui uma área plantada de 3.368 mil hectares com uma produtividade média de 1.804 kg ha⁻¹ e uma produção de 4,3 milhões de toneladas.

No Nordeste do Brasil, Pernambuco cultivou em 2011 uma área aproximada de 205,8 mil hectares e obteve uma produtividade de 230 kg por hectare com produção de aproximadamente 47,3 mil toneladas (CONAB, 2011). Embora alguns pesquisadores a considere com sendo uma cultura moderadamente sensível ao estresse salino, estudos têm mostrado que sua tolerância ao estresse salino pode variar entre genótipos (AZEVEDO NETO e TABOSA, 2000; GOMES et al., 2011 LACERDA et al., 2011).

Entre os países que mais produzem milho no mundo (FAO, 2010) podem ser destacados os Estados Unidos da América como maior produtor, sendo o Brasil, terceiro maior produtor do mundo, com produção estimada em 73,0 milhões de toneladas.

É uma cultura muito exigente em água, por isso, o cultivo de milho verde para indústria ou consumo *in natura* requer irrigações frequentes ao longo de todo o ciclo. A quantidade de água requerida pelo milho durante o ciclo de cultivo pode variar com as condições climáticas da região. Em regiões semiáridas em geral, as plantas requerem uma maior quantidade de água por ciclo (ANDRADE et al., 2006), devido a alta demanda evaporativa. Segundo esses autores, durante a fase de florescimento e enchimento de grãos, a cultura requer mais água consumida diariamente, mesmo sobre baixa demanda evaporativa ou muito alta demanda evaporativa, o consumo total foi de 480 mm e 640 mm respectivamente (ANDRADE et al., 2006).

Em cultivo rotacionado de milho (híbrido AG 1051) com feijão-caupi irrigados com água de diferentes níveis salinos durante estação seca em Fortaleza CE, (LACERDA et al., 2011) verificaram redução da produtividade a partir da irrigação com água de 2,2 dS m⁻¹. Diante do presente estudo foi observada maior tolerância desse híbrido em relação ao estudo de Maas e Hoffman (1977) e Ayers e Westcot (1999).

Em estudo realizado com os genótipos de milho Jatinã C3 anão, relativamente tolerante à salinidade; a cultivar V-190, adaptada a deficiência hídrica; o híbrido duplo BR-201, tolerante à acidez do solo e a linhagem pura LW-1 submetidos a níveis salinos de 2,01; 7,78 e 12,38 dS.m⁻¹, (WILLADINO et al., 1999) verificaram que o Jatinã C3 anão, V-190 e o híbrido duplo BR-201 apresentaram redução de 50% da massa seca da raiz sob salinidade de 12,38 dS m⁻¹, nos menores níveis salinos, a plantas foram mais tolerantes.

Gomes et al. (2011) avaliaram o híbrido AG 1051 (milho), em Argissolo Vermelho Amarelo irrigado com água salina sob condutividade elétrica de 0,8 dS m⁻¹ e 5 dS m⁻¹ sem fração de lixiviação utilizando espaçamentos de 0,5; 0,7 e 0,9 m entre fileiras. O estresse salino não afetou o fechamento parcial dos estômatos, os efeitos osmóticos sobre a planta, a toxidez iônica sobre o metabolismo e a taxa fotossintética líquida se manteve normal. A área

foliar foi reduzida com o adensamento das plantas e do aumento da salinidade, a redução do crescimento foliar é um mecanismo de defesa sob condições de estresse salino e hídrico para reduzir as perdas de água por transpiração (GOMES et al., 2011; TAIZ e ZEIGER, 2004). Portanto, as plantas do híbrido AG 1051 demonstraram boa capacidade de aclimatação nas condições do presente estudo, devendo-se salientar que a aplicação de água salina se iniciou somente após o estabelecimento da plântula, considerada a fase de maior sensibilidade dessa espécie à salinidade (Maas e Hoffman, 1977). No entanto, os resultados parecem evidenciar maior grau de tolerância das plantas do referido híbrido em comparação com dados encontrados (Ayers e Westcot, 1999) que considera a salinidade limiar da água de 1,1 dS m⁻¹.

O milho é classificado como uma espécie moderadamente sensível à salinidade (MAAS, 1984). Segundo Ayers e Westcot (1999) possui tolerância de 1,7 dS m⁻¹ de condutividade elétrica no extrato de saturação, sendo esta considerada sua salinidade limiar. Estudos tem evidenciado tolerância mais elevada à água de irrigação (WILLADINO et al., 1999; AZEVEDO NETO e TABOSA, 2000; GOMES et al., 2011) em algumas variedades de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage, 39).

AGUIAR NETTO, A. O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BLANCO, F. F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1640-1645, 2007.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1. ed. Cruz das Almas: EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA versão online, 2010.

ANDRADE, C. L. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. Sete Lagoas, **Circular técnico**, 2006.

ANNANDALE JG, BENADE N, JOVANOVIC NZ, STEYN JM, DU SAUTOY N Facilitating irrigation scheduling by means of the Soil Water Balance Model. **Water Research Commission Report** No 753/1/99, Pretoria, 1999.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo me função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande. FAO: - Estudos de Irrigação e Drenagem, 1999. p.153. (Paper, 29).

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. Campina Grande, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.165-171, 2000.

BAILEY, D.A. Alkalinity, pH and acidification. In: REED, D.W. **Water, media, and nutrition for greenhouse crops**. Batavia: Ball Publishing, 1996. p.69-91.

BAN KI-MOON, 2012 Theme: Universal Access to Reproductive Health Services. **Organização das Nações Unidas – ONU**, 20 de Mar. 2013. Disponível em: <<http://www.un.org/en/events/populationday/>>. Acesso em: 20 de Mar. 2013

BARNARD, J.H., RENSBURG, L.D.V., BENNIE, A.T.P. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. **Irrigation Science**, v.28, p.191–201, 2010

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, SP, v.13, p.182-190, 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2010. 625p.

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão-caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p.1075-1082, 2010.

CARVALHO, J. F. **Manejo de irrigação no cultivo do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) em solo aluvial no Semi-árido**. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CHRISTIANSEN, J. E.; OLSEN, E.; WILLARDSON, L. S. Irrigation water quality evaluations. **Journal of the Irrigation and Drainage**, New York, v. 103, p. 155-169, 1977.

CHRISTOFIDIS, D. Água irrigação e segurança alimentar. **Revista ITEM** v 77, 1º TRIM. 2008.

CHRISTOFIDIS, D. **ÁGUA: Gênesis, gênero e sustentabilidade alimentar no brasil.** AguaesustentabilidadealimentarBrasil1.doc. 2006.

CONAB – **Companhia brasileira de abastecimento.** 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_07_05_08_41_20_boletim_graos_-_10julho_2012.pdf>. ACESSO em 13/7/2012, as 18:38.

CORDEIRO, G. G.; BARRETO, A. N.; CARVAJAL, A. C. N. **Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (2ª parte).** Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1988. 57p. Documentos, 54.

CROSBY, C.T; CROSBY, C.P. **A computer program for establishing irrigation requirements and scheduling strategies in South Africa:** executive summary. Water Research Commission Report No 624/1/99, Pretoria, 1999.

DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. S. N.; ANDRADE, S. I. O.; SALES, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DONEEN, L. D. Water quality for irrigated agriculture. In: POLJAKOFF-MAY-BER, A.; GANE, J. (Ed.). **Plants in saline environments.** New York: Springer-Verlag, 1975. p. 56-76. (Ecological Studies, 15).

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. M. (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura.** Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p.363-383.

FAO. 2005. **Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils.** Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutr. Manag. Service. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush> . ACESSO EM: JUNHO/2012.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2007. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat/> ACESSO EM: MARÇO/ 2012.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2010. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/site/339>> ACESSO EM: JULHO/2012 AS 12: 45.

GEBRIM, F. O.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; VERGÜTZ, L.; PROCÓPIO, L. C.; NUNES, T. N.; & JESUS, G. L. Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2255-2267, 2008

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.329-346.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles: emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle Irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers B.V., 1986. p. 142-240.

GLENN, E. P.; BROWN, J. J.; BLUMWALD, E. Salt tolerance and crop potential of halophytes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v.18, n.2, p.227-255, 1999.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; FILHO, F. L. A.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO; E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.4, p.365–370, 2011.

HOFFMAN, G. J. Alleviating salinity stress. In: G. F. Arkin and H. M. Taylor, (Eds.). **Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress**. American Society of Agricultural Engineers, Michigan, p. 305-341, 1981.

LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.663-675, 2011.

LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11; p.1-21, 2010.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; JUNIOR, A. B. A. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, v.2, p.79–86, 2007.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. In CHRISTI, B. R.; (ed.) **Handbook of plant science in agriculture**. Flórida: CRC Press, 1984.

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

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio - I. Região da chapada do apodi, rio grande do norte. **Caatinga**, Mossoró-RN, v. 11, 1/2, p.41-46, 1998.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006, 318p.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE**. Dissertação (Mestrado) Campina Grande: UFPB, 1992. 173p.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Caderno Agropecuária**, 2006.

MOLDEN, D. “Trend’s in water and agricultural development”, in **Water for Food, Water for Life**, IWMI/Earthscan, USA/UK, 2007.

MONTEIRO, A. L. N.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M .G. SANTOS, F. X. Avaliação de lavagem parcial de sais em neossolo flúvico irrigado, utilizando modelagem computacional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.207-220, 2009

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MACKAY, R.; MONTENEGRO, A. A. A. Análise estocástica de fluxo e transporte em solos não saturados para avaliação de risco de salinização. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.2, p.17-34, 2002.

NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B. Tamanho e composição mineral de sementes de feijão-de-corda irrigado com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 569-574, 2008.

ORCUTT, D. M.; NILSEN, E. T. **Physiology of plants under stress: soil and biotic factors**. New York: J. Wiley, 2000. 683p.

PAZ, V. P. S., TEODORO, R. E. F., MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p.465-473, 2000.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Española, 1985. 521p.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frequência-goteomicroaspersor-exudacion**. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

RHOADES, J.D. Drainage for salinity control. In: van SCHILFGAARDE, J. (ed.) **Drainage for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p.433-462.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use saline waters for crop production**. Trad.: GHEYI, H.R.; SOUSA, J.R.; QUEIROZ, J.E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: Stewart, D.R.; Nielsen, D.R. (ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1990. p.1089-1142. *Agronomy*, 30

RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108. p. 2002. *Sistemas de produção* 2.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. *USDA Agricultural Handbook*, 60

SANTOS, A. N., SOARES, T. M., SILVA, E. F. F., SILVA, D. J. R., MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.961-969, 2010.

SANTOS, H. C., FRAGA, V. S., RAPOSO, R. W. C., PEREIRA, W. E. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. I. Crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.125–130, 2009.

SCOFIELD, C. S. The salinity of irrigation water. **Smithsonian Institution Annual Report**, Washington, DC, v. 1935, p. 275-287, 1936.

SHAINBERG, I.; LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. **Hilgardia**, v.52, n.2, p.1-57, 1984.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.15, n.4, p.383–389, 2011.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108–114, 2007

SILVA, T. J. A.; MONTENEGRO, A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BONFIM, E. M. S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina -PE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.511-520, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Tradução: Eliane Romanato Santarém et al. Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 618-619.

THORNE, D. W.; PETERSON, H. B. **Irrigated soils: their fertility and management**. 2nd ed. Bombay: McGraw-Hill, 1954. 382 p.

VAN HOORN, J. W.; VAN ALPHEN, J. G. Salinity control In: H. P. Ritzema (eds.) **Drainage principles and applications**. ILRI Publication 16. 2.ed. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1994. cap. 15, p.533-600.

WILCOX, L. V. The quality of water for irrigation use. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1948. 40 p. (USDA. **Technical Bulletin**, 962).

WILLADINO, L.; MARTINS, M. H. B.; CAMARA, T. R.; ANDRADE, A. G.; ALVES, G. D. Resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.1209-1213, 1999.

CAPITULO II

BALANÇO DE SAIS EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO COM ROTAÇÃO CULTURAL DE MILHO VERDE E FEIJÃO-CAUPI NO LITORAL PERNAMBUCANO

Balanco de sais em Neossolo Quartzarênico com rotação cultural de feijão-caupi e milho verde no litoral pernambucano

RESUMO: O objetivo deste estudo foi realizar o balanço de sais considerando perfil de solo de textura arenosa irrigado por gotejamento aplicando água com diferentes condutividades elétricas (CE 1,2 e 3,3 dS m⁻¹) e frações de lixiviação (FL0, FL5%, FL10%, FL15% e FL20%) em condições de cultivo rotacionado de feijão-caupi e milho verde em estação lisimétrica de drenagem. O estudo foi realizado na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Doutor Ronaldo Freire de Moura, no Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Recife. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5 com quatro repetições, aplicando dois níveis de água salina e cinco frações de lixiviação. Durante o período experimental observou-se incremento da salinização do solo durante os períodos de cultivo de feijão-caupi e milho I. Nas fases de pousio e no segundo cultivo de feijão-caupi, quando não houve irrigação, ocorreu decréscimo da concentração de sais em função dos eventos de precipitação e das características físicas do solo, possibilitando a lixiviação dos sais. As frações de lixiviação aplicadas promoveram equilíbrio da concentração de sais na zona radicular. A extração de sais pelas plantas foram compatíveis a fertilização para os cultivos de milho e no caso do feijão-caupi, a adição de fertilizantes foi inferior a extração pelas plantas. Os períodos de pousio foram importantes para evitar a salinização do solo.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação, lixiviação, salinidade

Balance of salts in Quartzarenic Neosol with crop rotations of corn and cowpea in coast form Pernambuco (Brazil)

ABSTRACT: The aim of this study was the balance of incoming and outgoing salts in a profile of a sandy soil under drip irrigation by applying two different types of water (EC 1.2 and 3.3 dS m⁻¹) and leaching fractions (FL0, FL5% FL10%, FL15% and FL20%) in culture conditions rotated from cowpea and corn lisimetric station. The study was conducted at the Experimental Station of Irrigated Agriculture Dr. Ronaldo Freire de Moura, in the Department of Rural Technology, Federal Rural University of Pernambuco, Recife (Brazil). The

experimental design was completely randomized in a 2x5 factorial arrangement with four replications, applying two levels of saline water and five fractions leaching. During the experimental period was observed increase salinity soil occurred during periods of cultivation of cowpea and maize when irrigated with water at 1.2 and 3.3 dS m⁻¹. In the phases of the second and fallow cultivation of cowpea, when no irrigation occurred decreasing salt concentration as a function of precipitation events and physical characteristics of the soil, allowing the leaching of salts. The leaching fraction applied promoted equilibrium concentration of salts in the root zone. The extraction of salts by plants were compatible fertilization for crops of maize and cowpea in the case of the addition of fertilizer was lowest extraction of nutrition by plants. Fallow cultivation periods were important to prevent soil salinization.

KEYWORDS: irrigation, leaching, salinity

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional do planeta tem como consequência incremento do consumo de alimentos e a degradação do ambiente devido ao manejo inadequado do solo e da água podendo provocar salinização. Dessa forma, a utilização de práticas para o aproveitamento de áreas em processo de degradação pelos sais, são fundamentais.

Durante muito tempo a qualidade da água foi desprezada, porque no passado, as fontes eram abundantes e de fácil utilização (AYERS e WESTCOT, 1999). Com o passar do tempo essa situação foi se alterando em diversas regiões do planeta, exigindo a inclusão de águas de qualidade inferior para a utilização em perímetros de irrigação. Desse modo, tornou-se essencial conhecer as características físicas e químicas do solo e da água para utilização de cultivos, bem como a salinidade limiar tolerada pela cultura, (SANTOS et al., 2010). Dessa forma, problemas futuros poderão ser evitados ou pelo menos amenizados, a partir de um planejamento efetivo da irrigação.

Parte dos solos dos perímetros irrigados do Nordeste apresentam problemas de salinidade, de sodicidade e de salinidade e sodicidade. Neles é frequente a presença de cátions e ânions que agem causando danos, tanto na desestruturação do solo, como toxidez nas culturas, quando estas não apresentam algum mecanismo de ajustamento osmótico aos sais. Este problema de salinização acontece com mais frequência, em regiões semiáridas e áridas, devido à baixa pluviosidade e as altas taxas de evaporação, acelerando este processo mais

ainda quando se praticam irrigações manejadas de forma inadequada e em solos com drenagens deficitárias (GHEYI, 2000).

A lixiviação dos sais do solo abaixo da rizosfera das plantas é uma prática que vem sendo utilizada frequentemente, embora, apresente eficiência variada considerando o percentual da fração de lixiviação de água em relação à evapotranspiração. A textura dos solos também influencia no processo de remoção de sais: solos de textura argilosa, comparados aos solos de textura arenosa, apresenta lixiviação mais dificultada, conforme Ferreira et al. (2006) e Assis Junior et al. (2007).

A ocorrência de chuva constitui também uma prática importante de lixiviação, visto que, em períodos que o solo apresenta nível salino mais elevado pode se cultivar variedades mais tolerantes, com a ocorrência das chuvas e a consequente lixiviação dos sais no perfil, culturas menos tolerantes e de sistema radicular mais profundo podem ser cultivadas sem perdas de produtividade, conforme Bezerra et al. (2010), em rotação cultural utilizando feijão-caupi e milho irrigados com água salina.

A presente pesquisa teve por objetivo quantificar o balanço de sais e seus componentes em um perfil de solo de textura arenosa irrigado por gotejamento com águas de condutividade elétrica de 1,2 e 3,3 dS m⁻¹, aplicando variadas frações de lixiviação em condições de cultivo rotacionado e pousio, em estação lisimétrica de drenagem.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Doutor Ronaldo Freire de Moura, localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Recife, (8° 01' 05" S e 34° 56' 48" W, 6,5 m). O clima local, segundo Koppen é classificado como "As megatérmico tropical" (tropical úmido), com temperatura média anual de 27°C, precipitação anual acima de 1700 mm (SILVA et al., 2012).

As dimensões da área de pesquisa são de 18,00 x 25,80 m, e possuem um conjunto de quarenta lisímetros de drenagem, equidistantes 1,20 m. Cada lisímetro tem capacidade de 1,0 m³, com diâmetro externo na borda superior de 1,36 m, altura externa 0,75 m e profundidade 0,65 m, ficando uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo, evitando a entrada de água proveniente de escoamentos superficial. No fundo dos lisímetros instalou-se um sistema de drenagem com tubo de polietileno de 25 mm de diâmetro, disposto ao longo da circunferência. No tubo foram feitas perfurações de 5 mm de diâmetro, distanciados 50 mm, colocando-se sobre o tubo uma camada de brita zero de aproximadamente 50 mm de

espessura e também uma camada de areia lavada de aproximadamente 30 mm. Esta tubulação interliga o sistema de drenagem à unidade de coleta para medição do efluente. Neossolo Quartzarênico (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2009) foi utilizado para completar o enchimento, cujas características físico-hídricas à profundidade de 0-20 cm, seguiu metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) e são apresentadas (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo dos lisímetros.

Densidade		Pt	Granulometria			Ad	GF	Umidade na base de massa		AD	Ko
dg	Dp		Ar	A	S			0,1 atm	15 atm		
g cm ⁻³		(%)	(%)			(%)	(%)	(%)	(%)	cm h ⁻¹	
1,65	2,57	35,67	91,07	3,60	5,33	3,6	0,0	6,39	2,01	4,4	13,17

Dg: densidade global; dp: densidade das partículas; Pt: porosidade total; Ar: areia; A: argila; S: silte; Ad: argila dispersa em água; GF: grau de flocculação; AD: água disponível; Ko: condutividade hidráulica saturada

O solo utilizado foi proveniente da Destilaria Tabu, município de Santa Rita – PB. Sua coleta foi realizada na camada de 0-20 cm. Antes de iniciar os experimentos foram realizadas oito lavagens do solo dos lisímetros para uma possível eliminação de resíduos de experimentos anteriores.

O experimento teve duração total de 460 dias e quatro cultivos alternados, com início em 22-08-2010 e termino em 22-10-2010 para o cultivo de feijão-caupi I, início de cultivo do milho I em 9-11-2010 e termino em 21-01-2011, início de cultivo do feijão-caupi II em 8-4-2011 e término em 8-6-2011 e o cultivo de milho II em 14-9-2011. Os tratamentos se constituíram de dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,2 e 3,3 dS m⁻¹) (C1 e C2) e cinco frações de lixiviação (FL0, FL5, FL10, FL15 e FL20%).

A água utilizada para irrigar o experimento foi preparada adicionando-se sais (NaCl e CaCl₂) mais água proveniente da rede de distribuição da UFRPE em quantidades aferidas em campo até proporcionar condutividades elétricas de 1,2 e 3,3 dS m⁻¹. O sistema de irrigação foi do tipo gotejamento com gotejadores autocompensantes, tipo botão, em disposição online, e espaçados de 0,5 m. A bomba hidráulica que foi utilizada foi de 0,5 CV. Para cada água implementou-se um sistema de irrigação independente. O sistema foi avaliado seguindo a metodologia proposta por Merriam e Keller (1978), sendo verificada vazão média dos emissores de 4,00 L h⁻¹ a uma pressão de serviço 132,39 kPa.

Foram realizados testes de aferição para coeficientes de uniformidade antes do inicio da implantação do experimento. As medidas de vazão foram realizadas com o auxílio de proveta

e cronômetro durante 60 segundos e a pressão de serviço realizada com auxílio de manômetro de glicerina. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de uniformidade de distribuição (CUD), eficiência de aplicação (EA) e o coeficiente de uniformidade estatístico de irrigação (CUE), foram medidos, alcançando valores médios de 96%, 87,7%, 79,0% e 94,6%, respectivamente.

A evapotranspiração de referencia (ET_o) foi estimada pelo modelo de Penman-Monteith, com base em dados fornecidos diariamente através da estação agroclimática automática (Campbell Scientific modelo CR1000/CFM100/OS100). Foram utilizadas médias a cada quinze minutos das variáveis a chuva, temperatura e umidade relativa do ar, foram utilizadas médias diárias somadas em intervalos de dez dias e representadas (Figura 1) por ser consideradas importantes no comportamento vegetal durante o experimento.

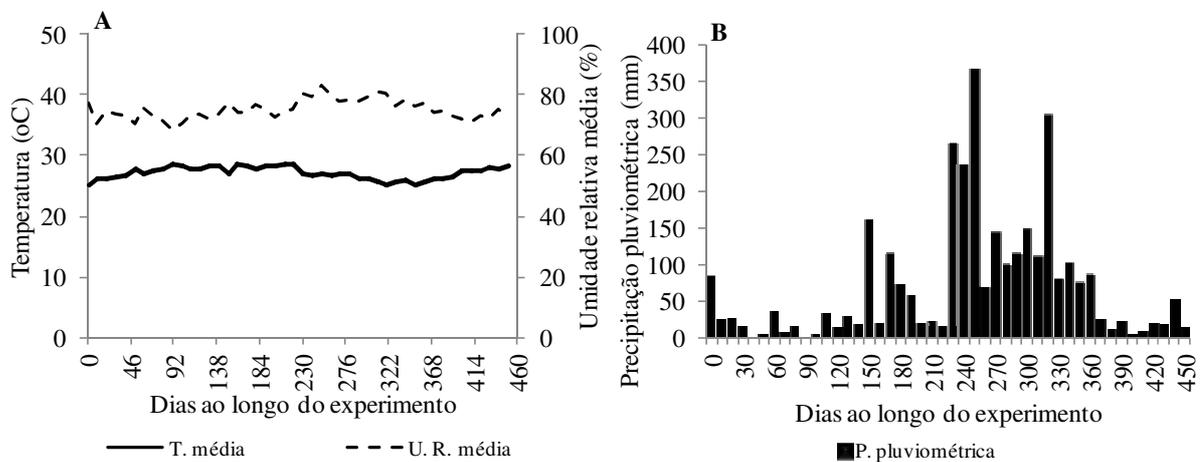


Figura 1. Valores decenal da chuva, temperatura média e umidade relativa média ao longo do experimento.

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados para o manejo do feijão-caupi (0,4; 1,05 e 0,5) e de (0,7; 1,15 e 1,05) para o milho, foram fundamentados em Allen et al. (2006), observando-se as fases fenológicas da cultura.

O balanço hídrico foi realizado para o período decenal aplicado a um volume de solo de profundidade Z, de 0 a L, durante um intervalo de tempo t₂-t₁, sendo descrito mediante a equação regida pela lei da conservação da massa, na qual a soma algébrica dos fluxos q durante um intervalo de tempo, é igual a variação da quantidade de água armazenada no mesmo intervalo em um elemento de volume considerado, podendo-se apresentar conforme (LIBARDI, 1995):

$$\int_{t_1}^{t_2} (q_2 - q_1) dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \frac{\partial \theta}{\partial z} dz * dt \quad (1)$$

Desdobrando-se esta equação nos termos do balanço hídrico, pode-se escrever:

$$P + I + A_c - E_s - D - E_t = \Delta A \quad (2)$$

em que: P é a precipitação pluviométrica (mm); I é a irrigação (mm), A_c é a ascensão capilar; E_s é o escoamento superficial; D é a intensidade de drenagem; E_t é a intensidade de evapotranspiração; e ΔA é a variação do armazenamento de água do solo.

Para o caso em questão, os termos A_c e E_s foram desprezados.

Assumindo balanços hídricos em intervalos de tempo em decêndios, admitiu-se condições de fluxo permanente, e desprezou-se o termo ΔA . Assim, a equação para este dispositivo resumiu-se a:

$$P + I - D - E_t = 0 \quad (3)$$

A medição dos volumes gerados a partir da drenagem das parcelas, foi quantificada com o auxílio de provetas de 100 e 1000 mL, e de um balde graduado de 20 L⁻¹, calibrado de litro em litro, em seguida transformados para mm.

A irrigação foi realizada diariamente e estimada com base na E_{Tc} , pela equação a seguir, utilizando os seguintes dados: E_{To} , K_c e K_l (coeficiente de localização). A E_{To} e o K_c foram fornecidos conforme comentado anteriormente e o (K_l) seguiu recomendações (PIZARRO, 1996).

$$E_{Tc} = E_{To} * K_c * K_l \quad (4)$$

em que: E_{Tc} é a evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

E_{To} é a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

K_c é o coeficiente de cultivo, adimensional.

Realizaram-se onze amostragens de solo ao longo do experimento: 11, 37, 53, 62, 98, 131, 150, 283, 390, 426 e 460 DAE: dias ao longo do experimento. Cada amostra pesava aproximadamente 400 gramas, sendo duas amostragens por parcela nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, perfazendo 880 no total. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas

em peneira com malha medindo 2 mm. A pasta saturada foi preparada com 250 gramas da amostra seguindo a metodologia descrita por Richards (1954); no extrato da pasta foi medida a condutividade elétrica (CE) para verificar o comportamento espacial da salinização do solo.

Foi realizado um balanço de sais a cada período decendial através da diferença da entrada e a saída de sais no perfil do solo pesquisado, estes sais foram provenientes da água de irrigação, fertilização e correção do solo.

A quantidade de sais da água de irrigação e do volume de drenado foi estimada considerando a condutividade elétrica (CE) de cada água através da equação 5:

$$\text{SDT}(\text{gm L}^{-1}) \cong \text{CEa} * 640 \quad (5)$$

em que: SDT são os sólidos dissolvidos totais mg L^{-1} ; CEa é a condutividade elétrica da água de irrigação dS m^{-1} .

Baseado na concentração de sais em mg L^{-1} e no volume total do drenado medido diariamente obteve-se a massa de sais, multiplicando-se pela área da parcela e estimou-se a quantidade de sais por hectare.

A quantidade de sais estimados em quilos por hectare nas diferentes lâminas de irrigação foi somada com a quantidade de fertilizantes aplicados (quilos por hectare) durante o experimento e considerando as datas de distribuição do fertilizante, assim se obteve a quantidade total de sais de entrada no ambiente estudado.

Outra fonte considerada como dreno de sais foram os cultivos de feijão-caupi e milho; no feijão-caupi, foi realizada a coleta de uma planta por parcela quando se notou o aparecimento de flores, foi obtido peso de matéria fresca e em seguida a amostra foi colocada em estufa a 65°C até massa seca constante. Depois se triturou e se realizou a digestão nitro-perclórica; de posse do extrato se realizou leituras de sódio (Na), potássio (K) e fósforo (P); já os elementos nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) utilizou-se os teores de nutrientes minerais obtidos nas folhas de feijoeiro conforme Bezerra Neto e Barreto (2011).

De posse dos valores dos elementos minerais obtidos na amostra em gramas por quilogramas (g kg^{-1}), estimou-se o consumo desses elementos pela cultura para um hectare, ao se multiplicar a quantidade de plantas cultivadas nos dois cultivos.

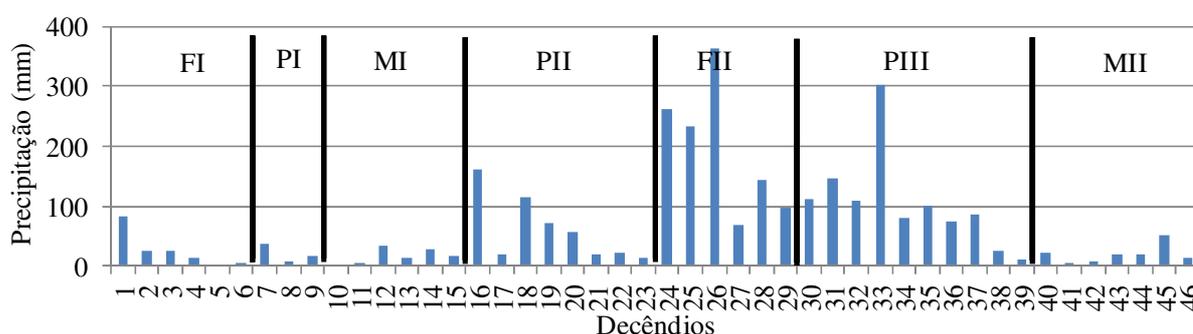
Na cultura do milho, os elementos minerais Na, K, P, Ca e Mg, foram obtidos através de leituras no extrato da digestão nitro-perclórica da parte aérea da planta completa e de grãos, em seguida somados; já os elementos nitrogênio (N) e enxofre (S) se utilizou os teores de

nutrientes minerais recomendados por Bezerra Neto e Barreto (2011), medidos em folhas da referida cultura. A estimativa de elementos minerais por hectare para o milho se considerando a produtividade de massa seca e a massa de grãos.

O balanço de sais foi realizado para um período decendial em cada tratamento, considerando o total de sais de entrada (Fertilizantes + sais na água de irrigação) e saída (extração pelos cultivos + lixiviado) durante o cultivo; também se realizou o balanço total ocorrido no experimento; um balanço de sais foi realizado para o pousio I, nos demais pousios o balanço foi dispensado devido ao excesso de chuva ocorrido e a consequente lixiviação drástica de sais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentada a precipitação pluviométrica durante o período experimental em escala decendial. Foi observada a constante ocorrência de precipitação pluviométrica ao longo da execução do experimento, o que facilitou a lixiviação de sais do perfil de solo, chegando a alcançar níveis drásticos (Tabela 2 e 3). Em estudos realizado sob condições de cultivo rotacionado com feijão-caupi e milho (híbrido AG 1051) durante aproximadamente sete meses, em Fortaleza-CE, Bezerra et al. (2010) observaram que durante a estação chuvosa, as precipitações pluviométricas foram decisivas na remoção de sais de um Argissolo Vermelho Amarelo. Embora se perceba que solos de textura arenosa apresente facilidade para lixiviação de sais, essa condição é dependente da adequação de técnicas a cada tipo de solo conforme observaram Assis Júnior et al. (2007), que cultivando feijão-caupi em Fortaleza-CE



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 2. Monitoramento da precipitação pluviométrica ao longo do experimento.

e irrigando com água de salinidade de 0,8 e 5 dS m⁻¹, aplicaram diferentes frações de lixiviação em Argissolo Vermelho Amarelo e perceberam que a lixiviação de 28% foi a que melhor se ajustou às condições de solo pesquisado. Pesquisando beterraba em Neossolo

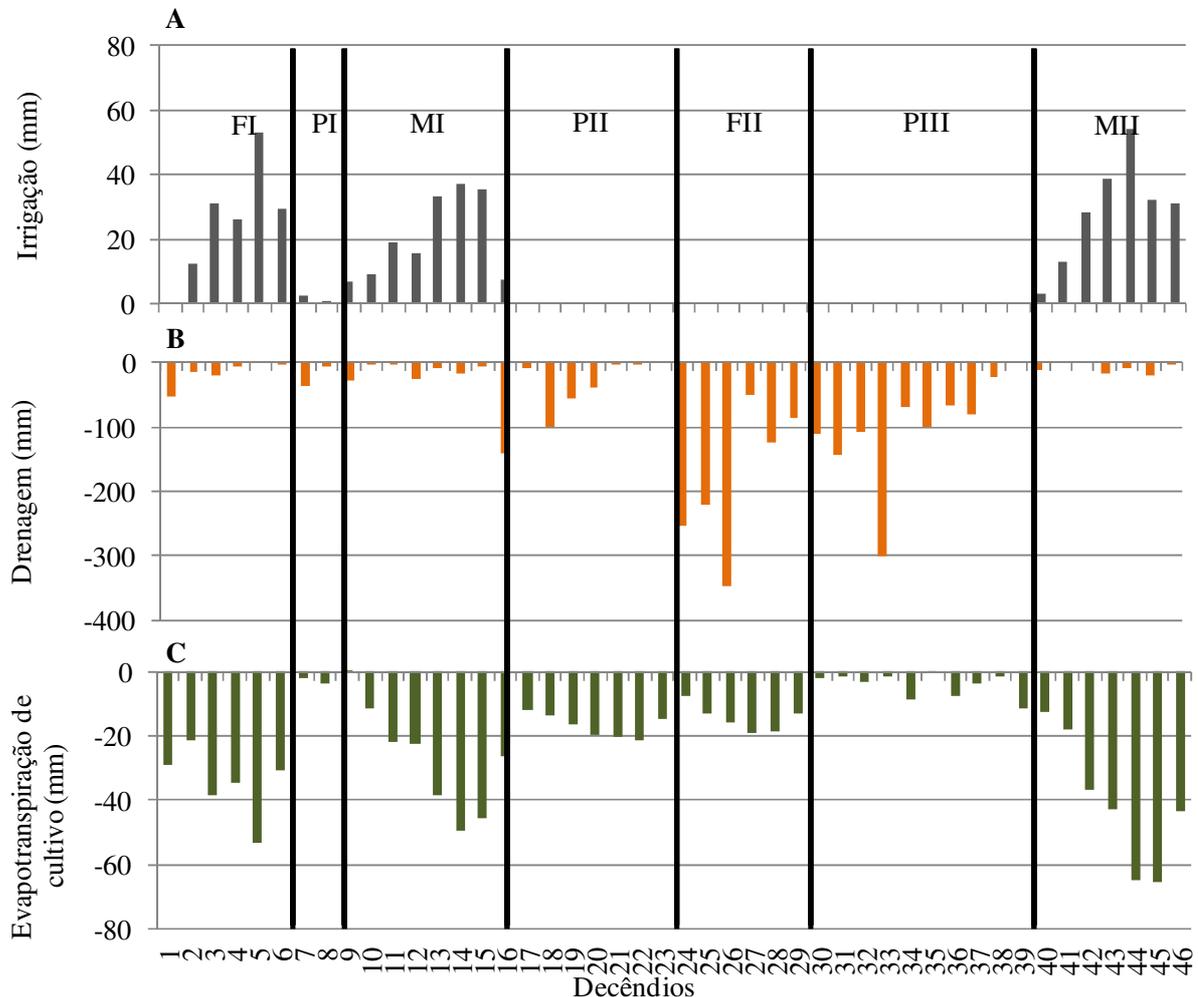
Flúvico, irrigando com água salina de 1, 2, 3 e 4 dS m⁻¹ e aplicando fração de lixiviação equivalente a 0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 do volume de poros do solo, (FERREIRA et al., 2006) observaram incrementos da salinidade no lixiviado com o decréscimo das lâminas de lixiviação, observaram também que os maiores índices de salinidade no perfil do solo, ao final do ciclo da cultura, corresponderam aos tratamentos que receberam lâminas de lixiviação e maior condutividade elétrica da água de irrigação até um volume de poros. Fração de lixiviação com 1,25 do volume de poros decresceu a salinidade do drenado, Tal fato aconteceu porque houve deslocamento dos sais que, inicialmente, estavam concentrados na superfície do solo.

Durante o FI (1 ao 6 decêndio), a maior ocorrência de chuva foi de aproximadamente 80 mm no primeiro decêndio (Figura 2). Neste período as plantas se encontravam em fase de estabelecimento no campo. Embora, nos decêndios seguintes tenha sido registrada a ocorrência de precipitações pluviométricas, as mesmas não foram suficientes para atender a demanda evapotranspirativa e suprir a necessidade hídrica da cultura e, portanto, a irrigação era aplicada (Figuras 3A a 12A). Nestas figuras, se verifica o aumento das lâminas de irrigação com o avanço das fases fenológicas da cultura, visto ao aumento da evapotranspiração da cultura (Figuras 3C a 12C). Percebem-se sensíveis variações entre as lâminas de irrigação (Figuras 3A a 12A), o que a maior ou menor variação entre os valores de lâminas é o tamanho do ciclo de cultivo da variedade, elevada evapotranspiração de referência, ocorrência de precipitações pluviométricas observadas no presente estudo, bem como, no estudo realizado (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012), estudando níveis de irrigação mais precipitação no cultivo de cana-de-açúcar em um Plintossolo do Município de União, estado do Piauí durante o ano agrícola 2008/2009.

Em estudo conduzido no Município de Alvorada do Gurguéia - PI, durante agosto e setembro de 2005, Bastos et al. (2008) observaram uma ET_c total de 288,5 mm, este valor é elevado ao se comparar com os valores do presente estudo de 200,40 mm e 121,39 mm respectivamente, nos meses de agosto a outubro de 2010 e abril a junho de 2011. Esta variação foi inerente ao comprimento do ciclo da variedade e também à alteração das condições do ambiente que interferem nas variáveis atmosféricas componentes do balanço da evapotranspiração de referência (BASTOS et al., 2008) e utilizadas no modelo de Penman-Monteith, considerado como o mais completo (ALLEN et al., 2006).

Nas Figuras de 3 a 12 estão apresentados os balanços hídricos decêndiais com as componentes: irrigação, drenagem e evapotranspiração de cultivo (ET_c) durante o período experimental para as condutividades elétricas da água e frações de lixiviação. A componente

ascensão capilar, escoamento superficial e variação de armazenamento foram desconsiderados, uma vez que a condição de fluxo pôde ser assumida como permanente, devido à irrigação diária.

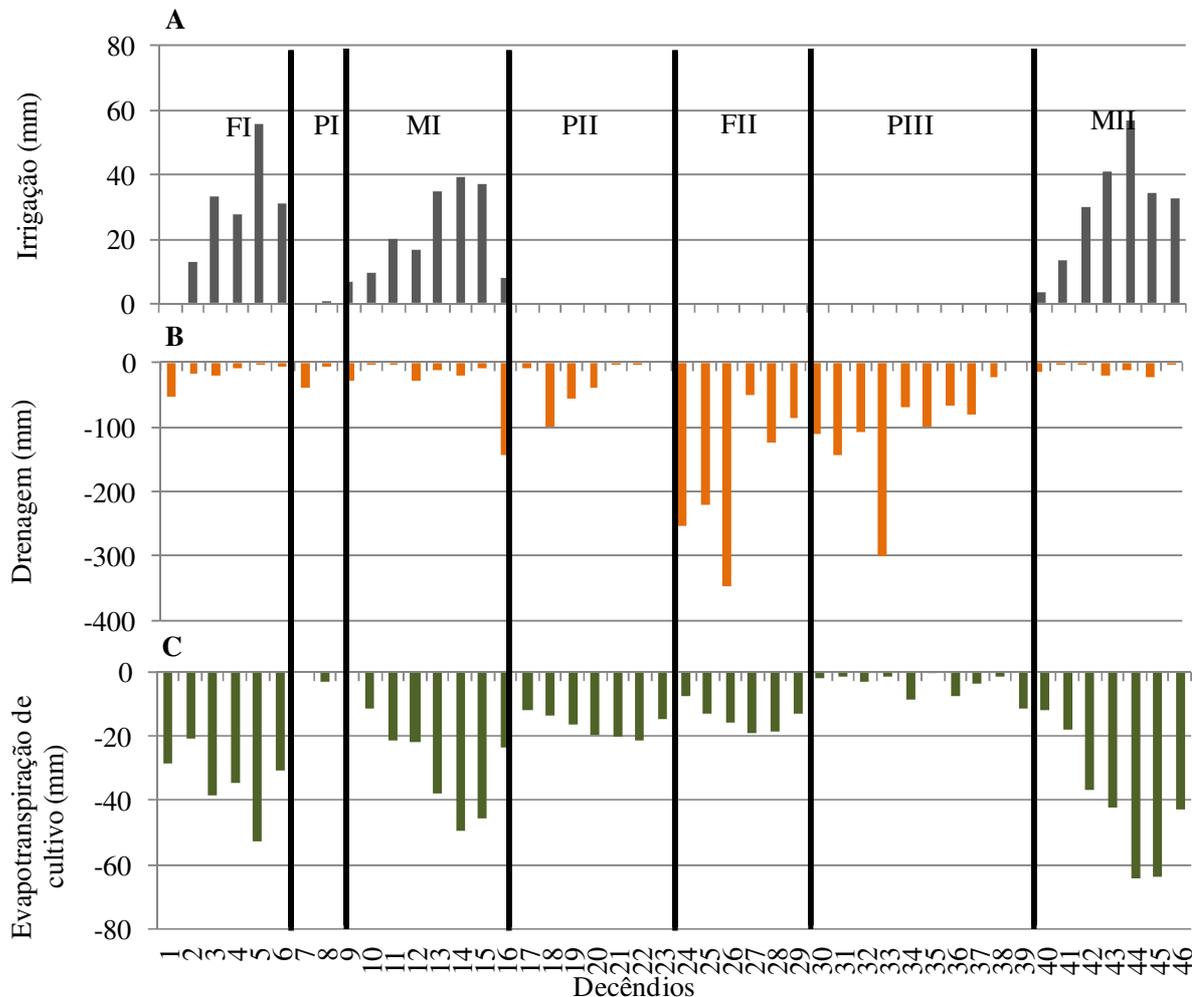


FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 3. Balanço hídrico temporal com água salina de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ sem fração de lixiviação (C1FL0), irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).

No cultivo MI (8 ao 15 decêndio) foi observado que a lâmina máxima de chuva ocorreu no decêndio 12 (Figura 2), mesmo assim, a menor lâmina de irrigação aplicada foi de 20 mm de irrigação, até repor por completo a demanda evapotranspirométrica (Figuras 3A a 12A). A partir dos decêndios seguintes, é observado incremento das lâminas de irrigação em função do avanço das fases fenológicas do milho e do conseqüente aumento da evapotranspiração de cultivo (Figuras 3C a 12C) e da ausência de precipitações pluviométricas. Em cultivo rotacionado de feijão-caupi e milho em Fortaleza-CE, durante os meses de outubro de 2007 a abril de 2008, em Fortaleza-CE, Bezerra et al. (2010) não aplicaram irrigação (tratamento)

durante a estação chuvosa, devido a ocorrência de precipitações pluviométricas que superaram as lâminas de irrigação requerida pela cultura de milho. Precipitações pluviométricas que superaram as lâminas de irrigação foram observadas durante o segundo cultivo de feijão-caupi do presente estudo (Figura 3 a 12), época que coincide com a estação chuvosa do litoral pernambucano.

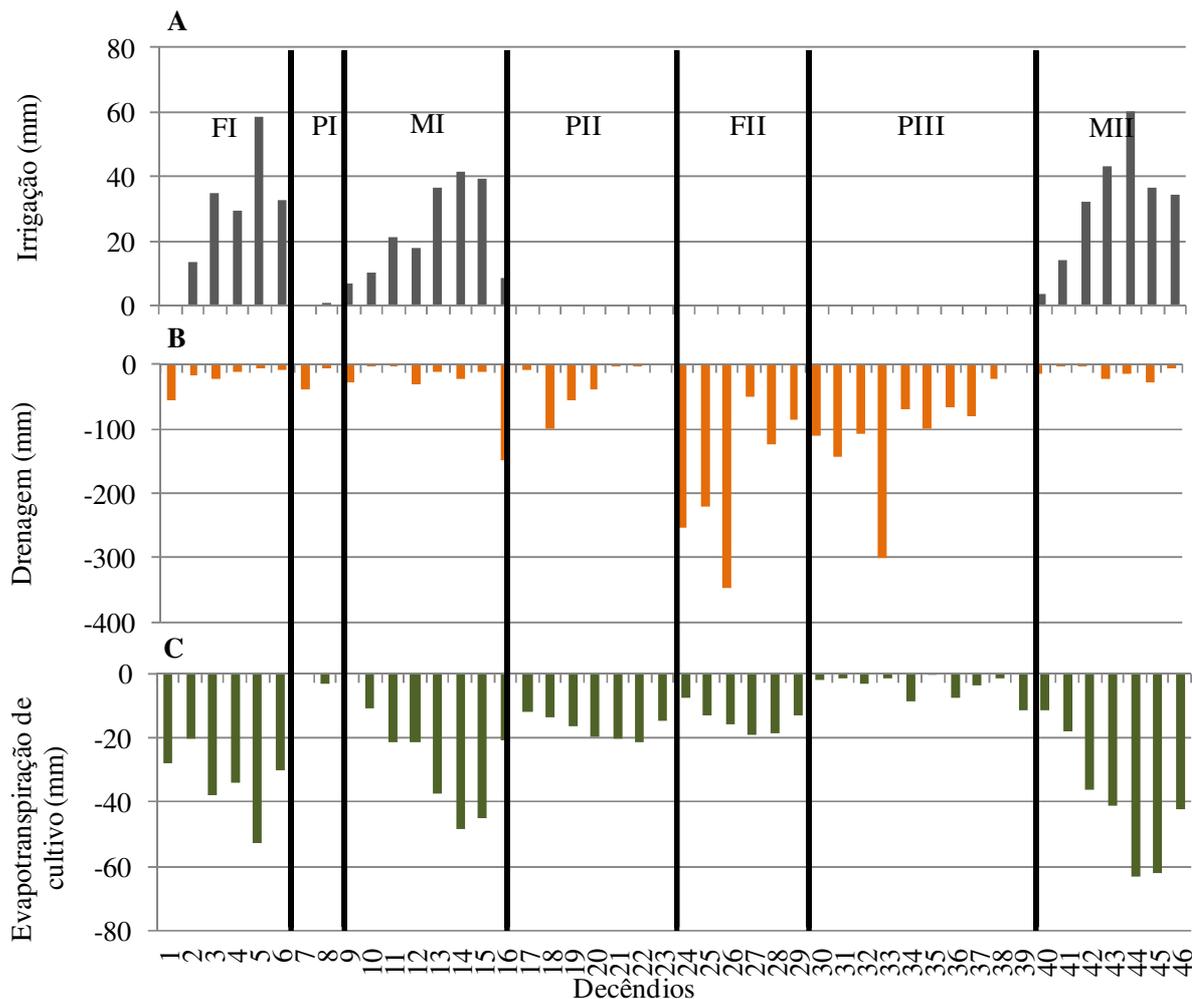


FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 4. Balanço hídrico com água salina de 1,2 dS m⁻¹ com fração de lixiviação de 5% (C1FL5); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).

Ressalta-se que as lâminas drenadas neste cultivo apresentaram valores reduzidos, no entanto, as lâminas de irrigação (Figura 3A a 12A) exigidas pela cultura e a reduzida pluviosidade complementaram a drenagem. O estudo conduzido por Ferreira et al. (2006) cultivando de beterraba e aplicando diferentes frações de lixiviação, observaram sensíveis incrementos no volume de drenado com o aumento das frações de lixiviação. Tanto as lâminas de irrigação quanto a evapotranspiração de cultivo apresentaram valores crescentes

em resposta as fases fenológicas da cultura e reduzindo-se na fase de colheita.



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

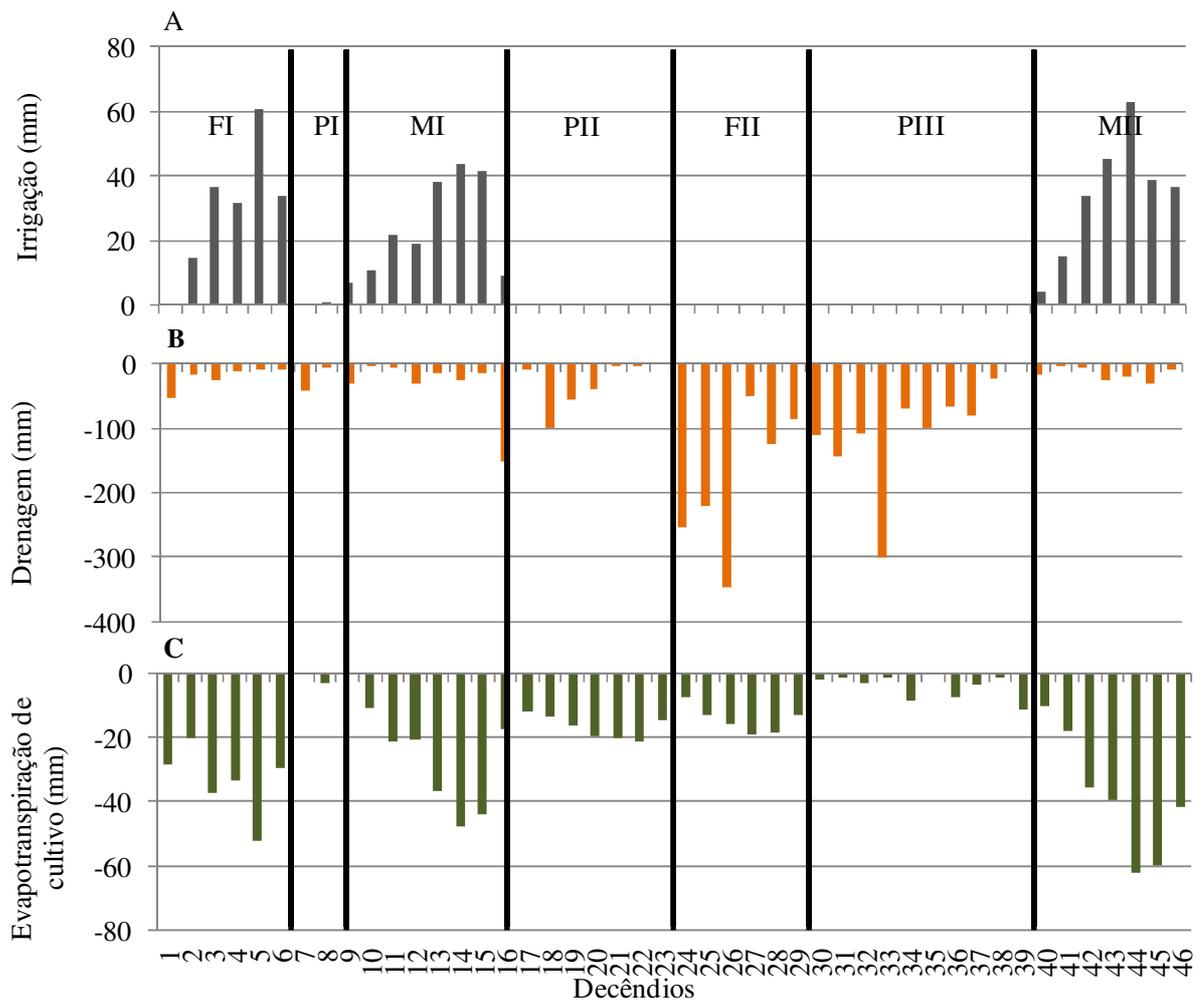
Figura 5. Balanço hídrico com água salina de 1,2 dS m⁻¹ com fração de lixiviação de 10% (C1FL10); irrigação (A); drenagem (B) e evapotranspiração de cultivo (C).

As lâminas requeridas para todo o ciclo foi 212,57 mm e 310,74 mm para a irrigação com água salina de 1,2 dS m⁻¹ sem fração de lixiviação (C1FL0) e água salina de 3,3 dS m⁻¹ sem fração de lixiviação (C2FL0) e de 249,84 mm e 372,89 mm para a irrigação com água salina de 1,2 dS m⁻¹ e fração de lixiviação (C1FL20) e água salina de 3,3 dS m⁻¹ e fração de lixiviação (C2FL20) respectivamente, para os respectivos MI e MII, no entanto, a diferença entre os valores das lâminas de irrigação variam em função das condições climáticas, do comprimento do ciclo de cultivo da variedade e da ocorrência de precipitações pluviométricas conforme (ANDRADE et al., 2006; ANDRADE JÚNIOR et al., 2012).

Em regiões semiáridas em geral, as plantas requerem maior quantidade de água por ciclo, devido à alta demanda evaporativa (ANDRADE et al., 2006); sobre baixa demanda

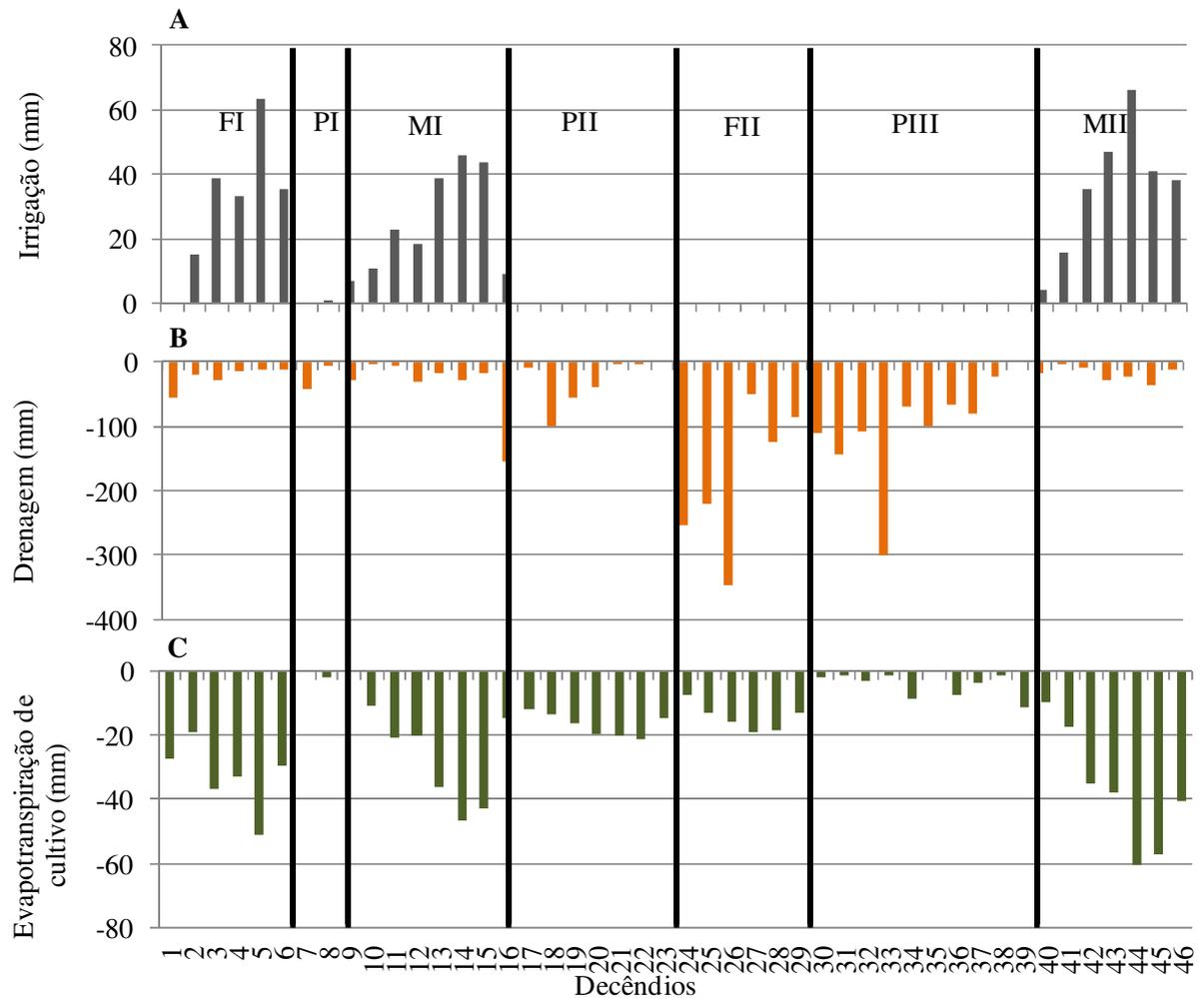
evaporativa o consumo total foi de 480 mm, no entanto, em condições de muito alta demanda evaporativa, foram consumidos 640 mm por plantas de 2 m de altura, sendo as mesmas consideradas como padrão.

O maior volume de chuva ocorrido foi observado durante o período chuvoso da região entre os decêndios 24 a 37 (Figura 2); neste período choveram 2173,4 mm, dispensando toda a irrigação do cultivo FII. Ressalta-se que os picos de elevada evapotranspiração de cultivo culmina com as lâminas de irrigação ocorrida no plantio FI, MI e MII (decêndio 39 a 46); exceção é observada para o cultivo FII, devido à ocorrência de chuvas já comentado.



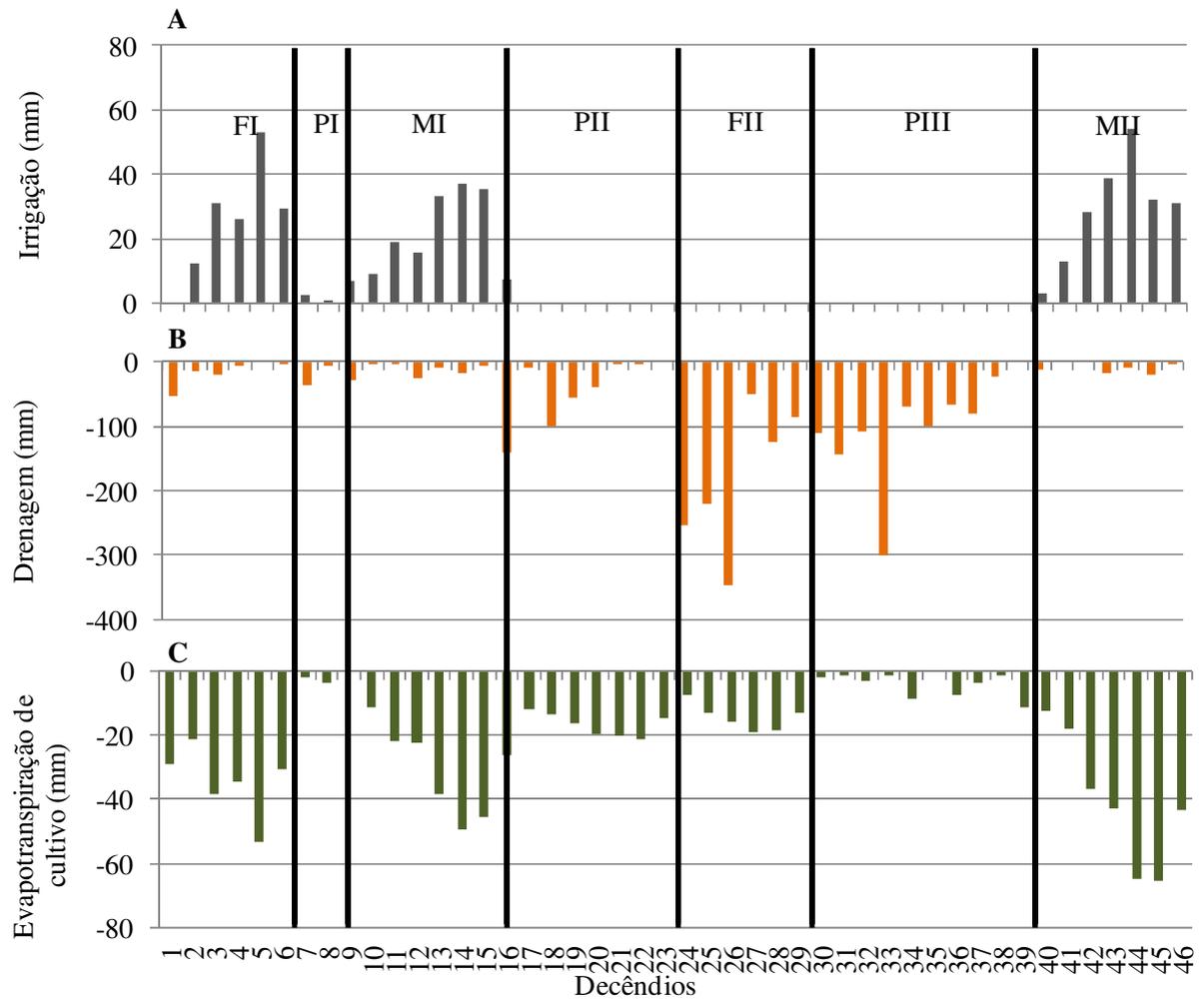
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 6. Balanço hídrico com água salina de 1,2 dS m⁻¹ com fração de lixiviação de 15% (C1FL15); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).



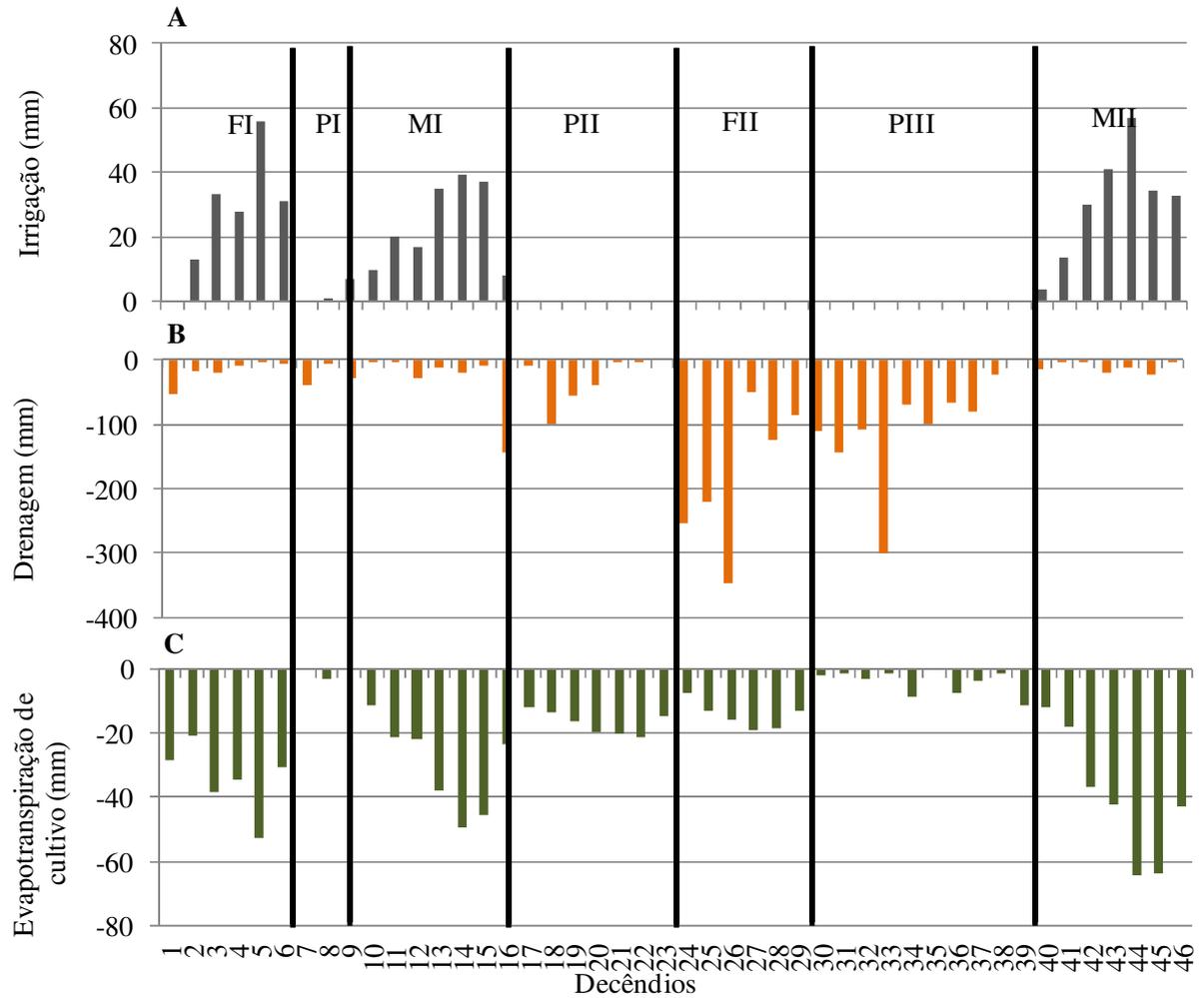
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 7. Balanço hídrico com água salina de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ com fração de lixiviação de 20% (C1FL20); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).



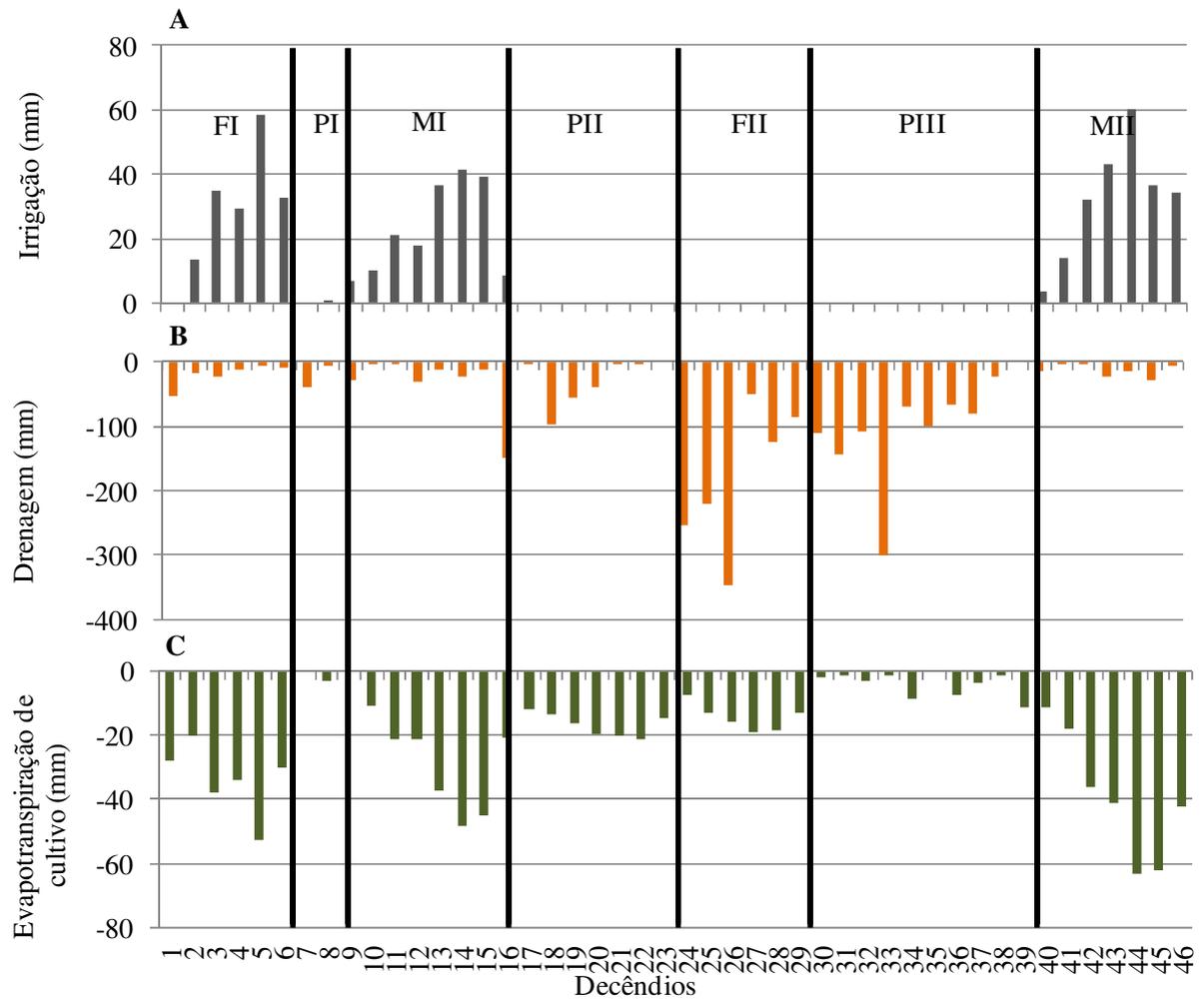
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 8. Balanço hídrico com água salina de 3,3 dS m⁻¹ sem fração de lixiviação (C2FL0); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).



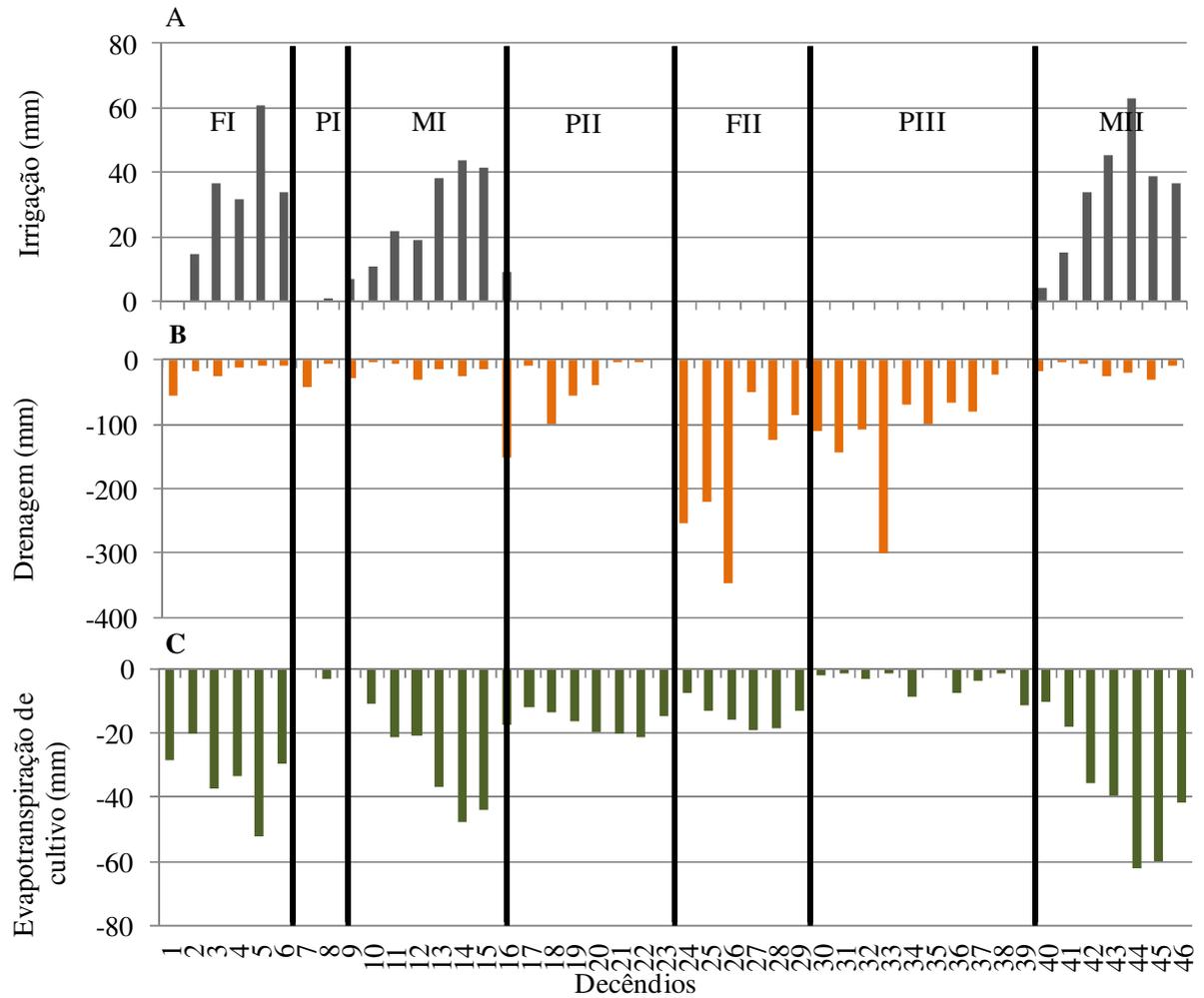
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 9. Balanço hídrico com água salina de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ com fração de lixiviação de 5% (C2FL5.); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).



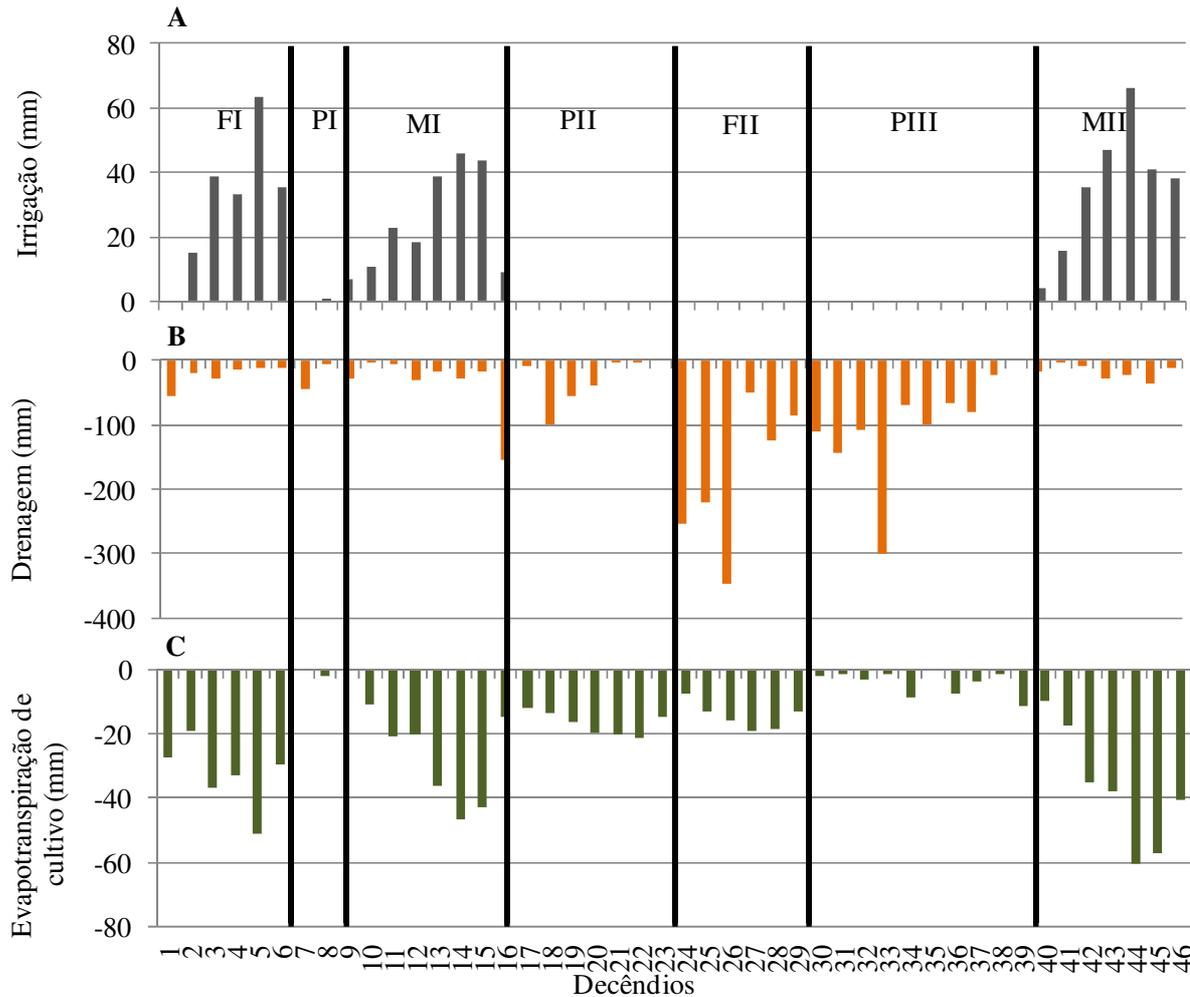
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 10. Balanço hídrico com água salina de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ com fração de lixiviação de 10% (C2FL10); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 11. Balanço hídrico com água salina de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ com fração de lixiviação de 15% (C2FL15); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho

Figura 12. Balanço hídrico com água salina de 3,3 dS m⁻¹ com fração de lixiviação de 20% (C2FL20); irrigação (A); drenado (B) e evapotranspiração de cultivo (C).

Na Tabela 2 está apresentada a condutividade elétrica do extrato saturado do solo em cada tratamento na profundidade de 0-20 cm em onze amostragens realizadas ao longo do experimento. Observa-se aumento da concentração de sais no solo ao longo do tempo independente da concentração dos sais da água, embora, a ocorrência de eventos de chuva entre as amostragens DAE 283 a 390, tenha contribuído para a lixiviação dos mesmos (Tabelas 2 e 3). Esse resultado concorda com Murtaza et al. (2006), quando utilizaram água salina sódica para irrigar algodão e trigo no Paquistão, em solo de textura arenosa, sob condições de cultivo rotacionado e com Bezerra et al. (2010) em rotação de cultivo com feijão e milho, realizado em Fortaleza CE. Reduções na condutividade elétrica do extrato de saturação podem ser observadas após os DAE 53, 150, 283 e 426, tais observações correlacionam-se com eventos de chuvas intensas e períodos de pousio ao longo do período

do estudo, constatou também redução da quantidade de sais nas camadas do solo quando se incrementou as frações de lixiviação.

Tabela 2. Condutividade elétrica do extrato saturado na camada de 0-20 centímetros

CE	FL	11 DAE	37 DAE	53 DAE	62 DAE	98 DAE	131 DAE	150 DAE	283 DAE	390 DAE	426 DAE	460 DAE
1,2	0	0,73	0,98	1,15	2,03	1,03	1,28	1,43	0,98	0,00	0,93	0,70
1,2	5	0,75	0,98	1,20	1,25	0,90	1,09	1,14	0,60	0,00	1,72	0,78
1,2	10	0,59	0,92	1,03	1,17	0,71	0,85	0,98	0,57	0,00	0,67	0,65
1,2	15	0,61	0,75	1,09	0,84	0,78	0,82	0,95	0,59	0,00	0,44	0,30
1,2	20	0,49	0,72	0,97	0,77	0,41	0,84	0,93	0,39	0,00	0,35	0,00
3,3	0	0,77	1,64	1,93	1,50	1,26	1,59	2,06	0,65	0,00	1,04	1,51
3,3	5	0,72	1,28	2,01	1,33	0,91	1,74	1,44	0,65	0,00	0,79	1,27
3,3	10	0,55	1,31	1,46	1,19	0,84	1,47	1,43	0,56	0,00	0,80	1,12
3,3	15	0,48	0,93	1,09	1,12	0,64	1,40	1,96	0,55	0,00	0,77	0,45
3,3	20	0,48	0,83	1,17	1,05	0,60	1,17	1,63	0,43	0,00	0,31	0,59

DAE: dias ao longo do experimento, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação.

Tabela 3. Condutividade elétrica do extrato saturado na camada de 20-40 centímetros

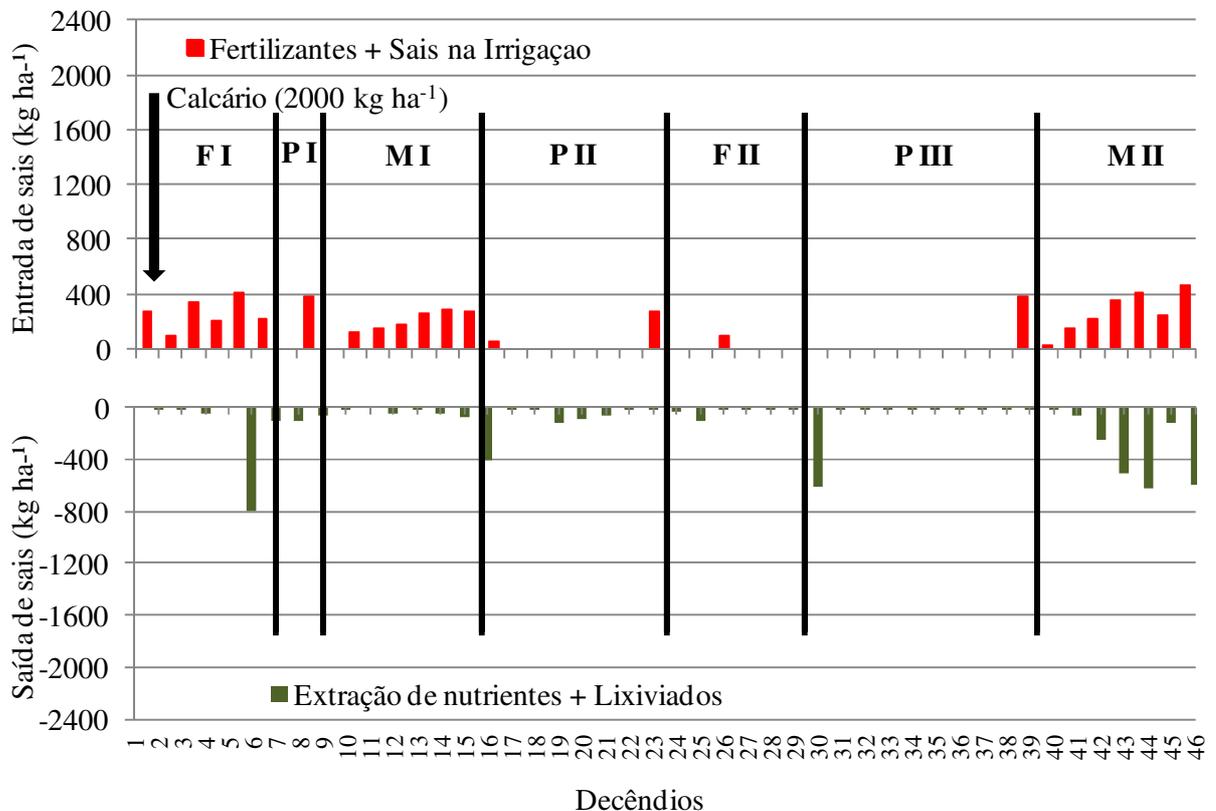
CE	FL	11 DAE	37 DAE	53 DAE	62 DAE	98 DAE	131 DAE	150 DAE	283 DAE	390 DAE	426 DAE	460 DAE
1,2	0	0,65	1,29	1,22	2,36	1,38	1,20	1,02	0,42	0,00	1,56	0,40
1,2	5	0,84	0,93	1,43	1,40	0,91	0,91	1,19	0,47	0,00	0,77	0,27
1,2	10	0,68	0,90	1,22	0,94	0,78	0,69	0,98	0,38	0,00	0,34	0,30
1,2	15	0,64	0,86	1,05	0,67	0,66	0,66	0,99	0,38	0,00	0,34	0,31
1,2	20	0,58	0,86	1,04	0,73	0,63	0,69	0,78	0,32	0,00	0,21	0,00
3,3	0	0,97	1,45	1,50	1,11	0,92	0,98	1,67	0,28	0,00	1,09	0,98
3,3	5	0,95	1,52	1,83	1,30	1,40	1,30	1,42	0,51	0,00	1,21	0,91
3,3	10	0,83	1,35	1,21	1,18	0,67	1,10	1,40	0,50	0,00	1,08	0,78
3,3	15	0,71	1,06	1,36	1,07	0,68	0,83	1,27	0,32	0,00	0,94	0,62
3,3	20	0,53	0,93	1,17	0,94	0,57	0,89	1,09	0,41	0,00	0,61	0,60

DAE: dias ao longo do experimento, CE: condutividade elétrica, FL: fração de lixiviação.

Resultado semelhante foi obtido em estudos realizados (LIMA, 1998) pesquisando o efeito de frações de lixiviação no cultivo de feijoeiro utilizando lisímetros de drenagem em viçosa MG, num Argissolo Vermelho Eutrófico. Em estudo realizado por Assis Junior et al. (2007) cultivando feijoeiro irrigado com água de condutividade elétrica variando de 0,8 dS m⁻¹ a 5,0 dS m⁻¹ sem fração de lixiviação e com lixiviação de 14% e 28% em solo Argiloso Vermelho-Amarelo, em Fortaleza CE, eles verificaram que a fração de 28% lixiviou os sais de forma mais eficiente da zona radicular em comparação com a fração de 14%.

É importante observar que até o DAE 150 o solo estava armazenando mais sais, isto se associa a adição de aproximadamente 7 Mg de matéria orgânica no início do experimento, o que facilitou a retenção de grande quantidade de íons durante este período; com a consequente mineralização da matéria orgânica seguida da extração de seus íons pelas plantas e parte lixiviada pelas chuvas a estrutura do solo foi se fragilizado e facilitando cada vez mais a lixiviação de sais adicionados.

Nas Figuras 12 a 16 são apresentados os balanços de sais provenientes da aplicação de fertilizantes mais a adição de sais da água de irrigação em termos de entrada no perfil de solo e a quantidade de saída representada pelo lixiviado mais o extraído pelos cultivos ao longo do experimento, quando se irrigou com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹ submetida

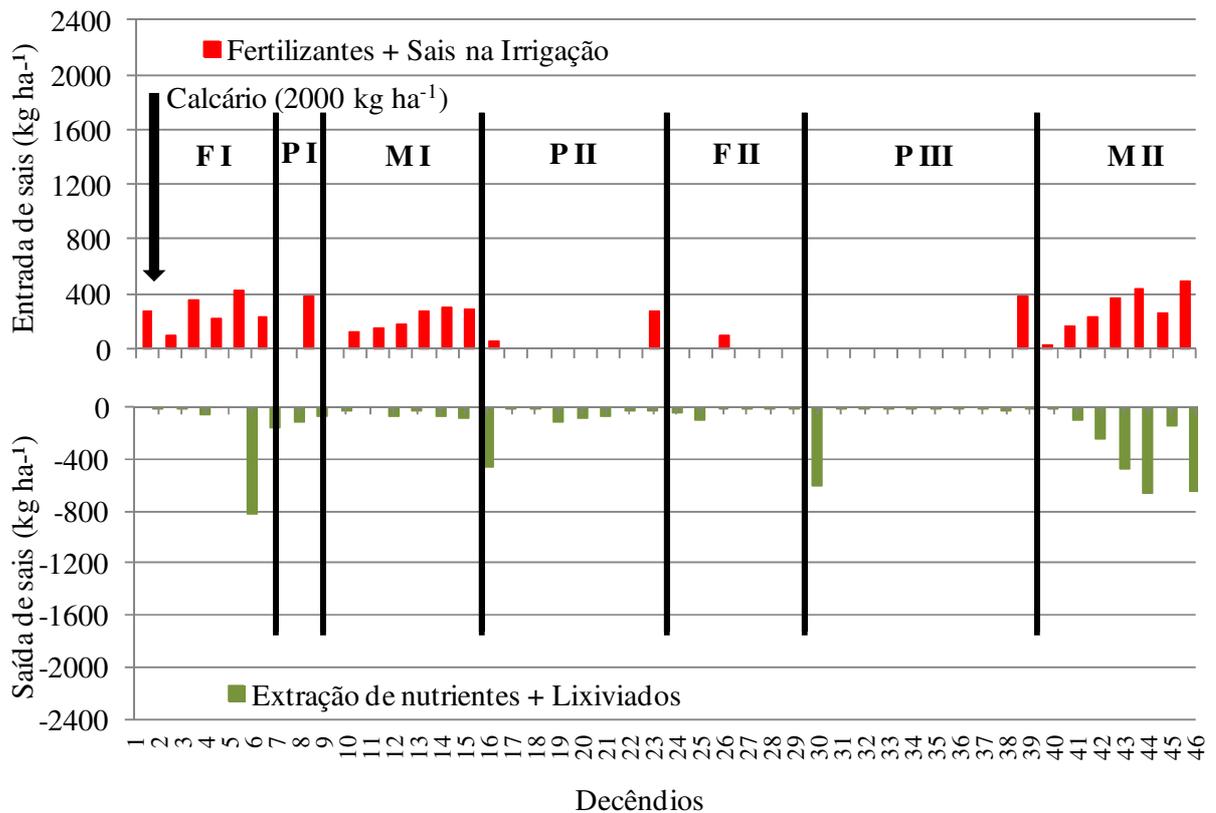


FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 12. Balanço decenal de sais do solo para o tratamento (C1FL0).

as frações de lixiviação de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%; nestas figuras é indicada também a quantidade total de calcário utilizada para correção do pH do solo dentro das condições de exigências das culturas no início do experimento. Observa-se que o experimento foi constituído de um total de sete fases, sendo dois cultivos de feijoeiro, dois de milho e três pousios em alternância com os cultivos; observa-se no decorrer deste período variações tanto

na quantidade de entrada quanto na saída de sais. A variação de entrada é condicionada às diferentes fases fonológicas de cultivo, variação da evapotranspiração, que altera as lâminas de irrigação com água contendo sais. Estes resultados concordam com aqueles observados por Dias et al. (2004), ao longo do cultivo de meloeiro em Argissolo Vermelho Amarelo irrigado por gotejamento. É importante ressaltar que durante os pousios entre cultivos, a entrada de sais do solo era suspensa (Figuras 12 a 21); exceção é observada para os decêndios que coincidem com a semeadura e adubação de fundação; já a saída de sais durante estes pousios era função da ocorrência de chuva.



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

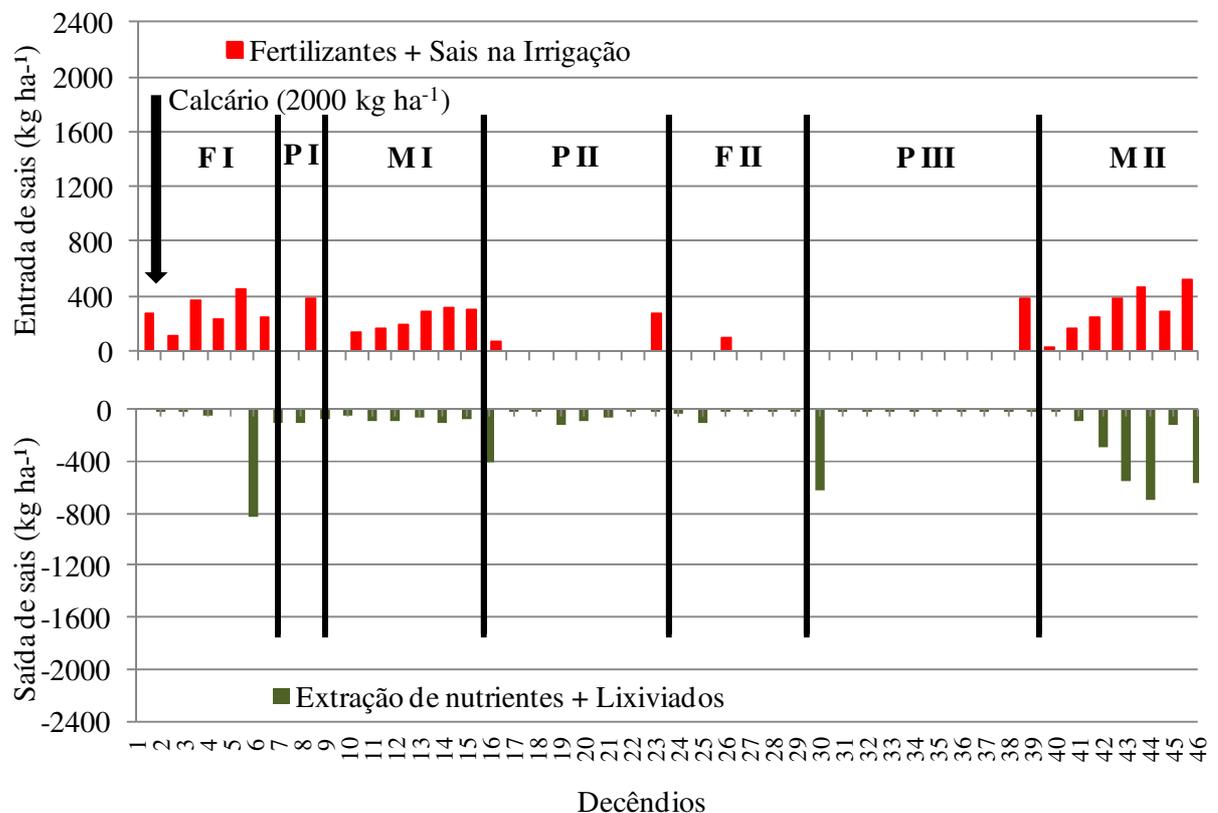
Figura 13. Balanço decendial de sais do solo para o tratamento (C1FL5).

Em estudos realizados por Gabriel et al. (2012) em rotação de cultivos durante três anos e meio em Madri Espanha com cevada e milho entre outros, foi observado que durante os cultivos a salinidade aumentava enquanto durante os pousios havia redução em decorrência das chuvas. Neste estudo os autores perceberam que os sais foram lixiviados a profundidade superior a 1,2 metros, as vezes chegando até os 4,5 metros.

Nas Figuras 12 a 16 é observado que a saída de sais do perfil do solo sob condições de irrigação com água de 1,2 dS m⁻¹ oscila em aproximadamente 100 kg ha⁻¹ até o decênio 26,

esta condição é explicada levando em consideração que eventos de chuva acima de 25 mm lixiviava praticamente todo o sal, embora, a adição de 7,0 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica no início do experimento proporcionou melhoria na estrutura do solo, mas sua mineralização e a consequente extração dos íons pelos cultivos e parte lixiviado pelas chuvas desestruturou o solo.

Do decêndio 27 até o 39 foi marcado por elevados índices pluviométricos e pela redução drástica da salinização do solo, tal resultado corrobora com os estudos realizados por Murtaza et al., 2006; Assis Júnior et al., 2007e Bezerra et al., 2010. A partir do decêndio 39 até final do experimento época que coincide com o último cultivo se observa o incremento da entrada de sais até o final do ciclo culminando com o incremento do lixiviado.

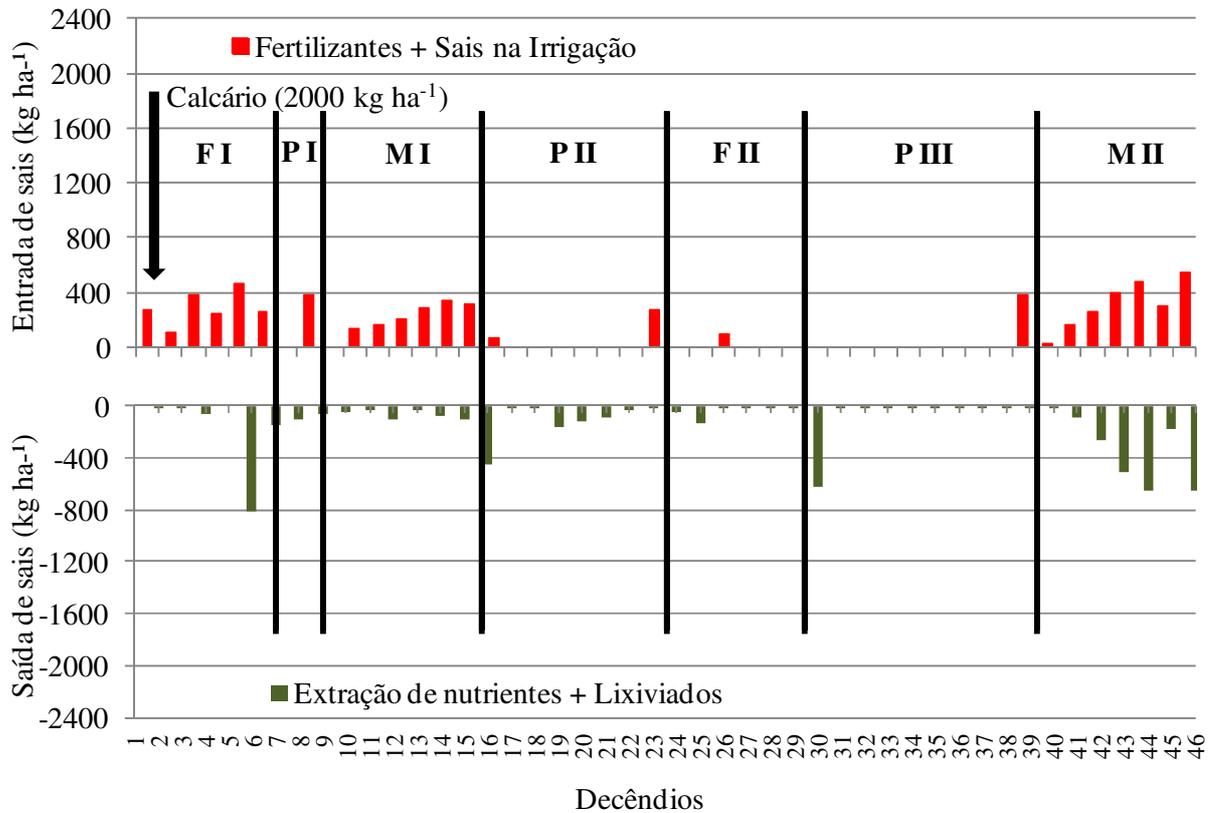


FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 14. Balanço decendial de sais do solo para o tratamento (C1FL10).

Observam-se nos decêndios 6, 16, 30 e 46 ocorrerem variações de 400 a 800 kg ha⁻¹ para os sais lixiviados, estes decêndios coincidem com a época de colheita dos cultivos e consequentemente a contabilização da extração de nutrientes pelo cultivo e também registros de eventos de chuvas em alguns desses decêndios que proporcionaram maior drenagem e lixiviação de sais. Vale ressaltar que comportamento semelhante pode ser verificado nas

Figuras 17 a 21 quando se irrigou com água de 3,3 dS m⁻¹ em comparação com a irrigação aplicando água de 1,2 dS m⁻¹ e fração de lixiviação de 0%.



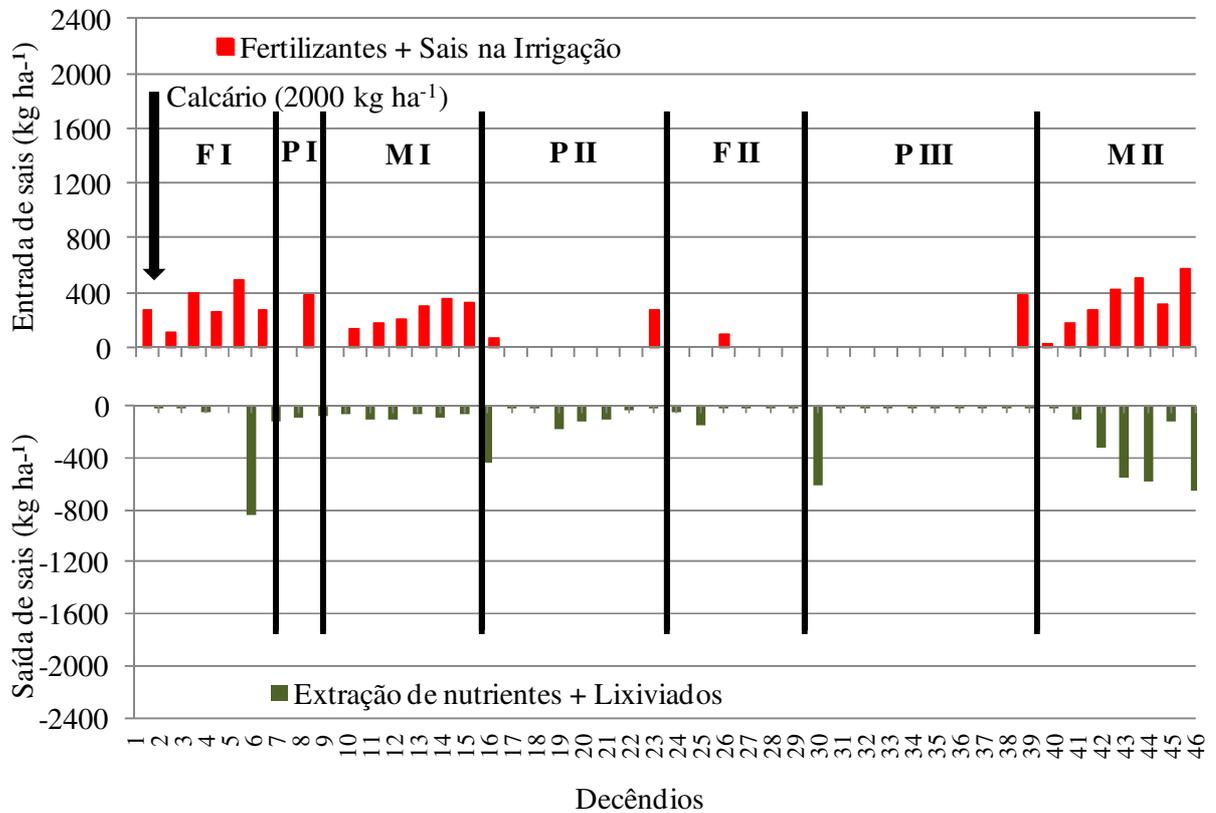
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 15. Balanço decendial de sais do solo para o tratamento (C1FL15).

Os sais de fertilizantes mais sais na irrigação foram superiores em 133,08%, 144,79%, 156,50%, 168,21% e 179,92% nas respectivas frações de lixiviação de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, se comparando com aquelas da água de 1,2 dS m⁻¹; mesmo com elevada quantidade de sais no solo, a adição de lixiviação de 10% foi suficiente para lixiviar os sais abaixo da rizosfera das plantas; já as frações de 15% e 20% provocaram lixiviação de sais e nutrientes para as condições de solo do presente estudo para o cultivo de feijoeiro I.

Os sais de entrada do balanço (extração de nutrientes e sais lixiviados) para condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹ foram comparados com aqueles também de entrada para água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹ e para o cultivo de feijoeiro e verificou-se que os valores apresentados foram 47,91%, 62,96%, 49,59%, 57,70% e 58,73% maiores, para as respectivas frações de lixiviação 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. De maneira geral, para todas as frações de lixiviações estudadas a lixiviação foi mais efetiva quando se utilizou água com maior salinidade. Nas Figura 12 pode-se observar que a lixiviação só ocorreu para a FL de 0%

quando ocorreram precipitações. Observando as Figuras de 13 a 16 verifica-se que a lixiviação ocorre de modo praticamente idêntico evidenciando uma condição de equilíbrio. Já quando se irrigou com água de 3,3 dS m⁻¹ as frações de lixiviação proporcionaram maior lavagem de sais (Figuras 17 a 21).



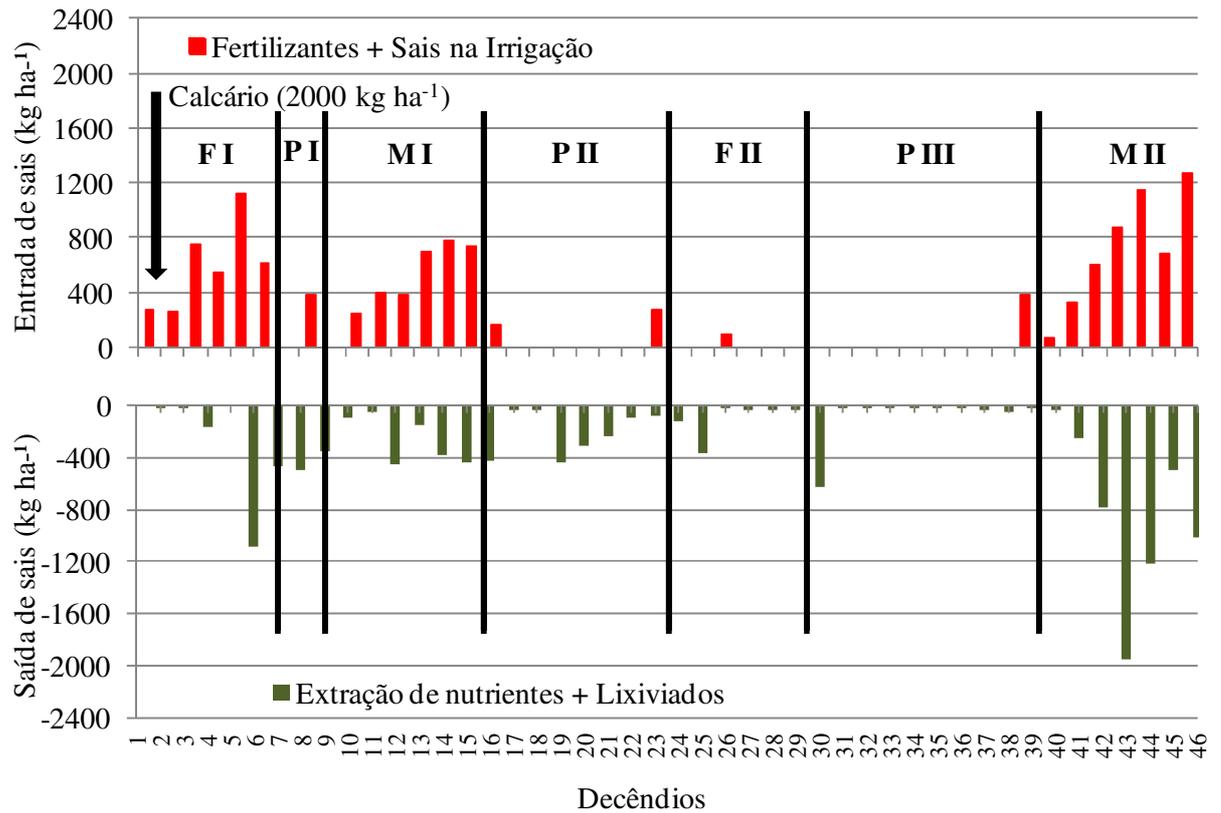
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 16. Balanço decendial de sais do solo para o tratamento (C1FL20).

No cultivo de MI, o aumento da quantidade (fertilizantes + sais na irrigação) foi de 122,21%, 133,21%, 144,20%, 155,20% e 164,3% nos tratamentos irrigados com água de salinidade de 3,3 dS m⁻¹ em comparação com a água salina de 1,2 dS m⁻¹. No cultivo de MII, também foi observado incrementos de 136,65%, 149,45%, 162,24%, 175,04% e 187,84% seguindo as crescentes frações de lixiviação em condições de água de salinidade de 3,3 dS m⁻¹. O incremento do percentual de sais é devido, a quantidade de irrigação requerida que resulta no incremento de sais no solo, conforme (ASSIS JÚNIOR et al., 2007), que conseqüentemente, incrementarão a quantidade de sais da drenagem. Resultado semelhante foi observado por Ferreira et al. (2006), cultivando beterraba em Neossolo Flúvico, irrigando com água salina de 1, 2, 3 e 4 dS m⁻¹ e aplicando fração de lixiviação equivalente a 0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 do volume de poros do solo.

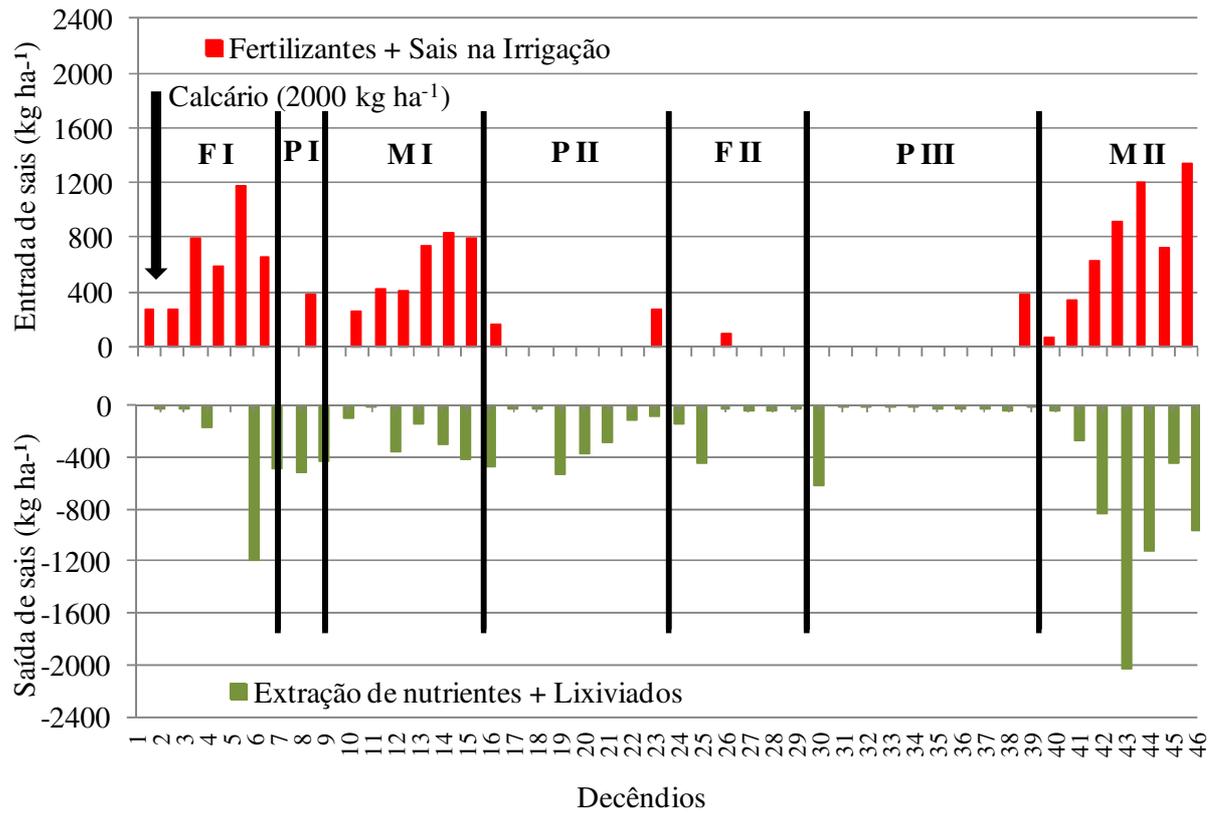
Para o cultivo de MI irrigado com água de salinidade de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, os sais (extraído pelas plantas + lixiviado), foi de 523%, 487,63%, 695,63%, 741,47% e 822% menores quando comparados aos sais (fertilizantes + sais na irrigação), respectivamente para as FL 0,5,10,15 e 20%, mostrando que nessa fase ocorreu um acréscimo da salinidade do solo, o que pode ser verificado nos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) (Tabela 2 e 3). Gabriel et al. (2012) trabalhando com rotação de cultivos em Madri Espanha, cultivando cevada e milho entre outros, observaram que durante os cultivos a salinidade aumentava, enquanto durante os pousios havia redução devido a ocorrência de chuvas. No cultivo MII, a entrada de sais também foi superior à saída, mas a lixiviação foi mais efetiva proporcionando diferenças de 164,32%, 162,26%, 161,42% 175,10% e 173,15% FL 0,5,10,15 e 20%, respectivamente.

No PI pode-se observar uma entrada de sais, que se deve a aplicação de fertilizantes visando o posterior cultivo de milho (adubação de fundação). No início do PI os sais acumulados durante o FI, foram lixiviados no decêndio 7 em função de uma chuva intensa de 59 mm. No período entre o início do PII até o final do FII (entre os decêndios 15 a 29) ocorreu 2689,5 mm de chuva e não foi adicionado sais via irrigação, levando a uma redução drástica da CEes do solo da área de estudo. Em continuidade houve um período do PIII (do decêndio 30 ao 39) no qual ocorreu elevadas lâminas de chuvas proporcionando a completa lavagem no solo arenoso ($\text{CEes} = 0 \text{ dS m}^{-1}$) em todo o perfil do solo (Tabelas 2 e 3).



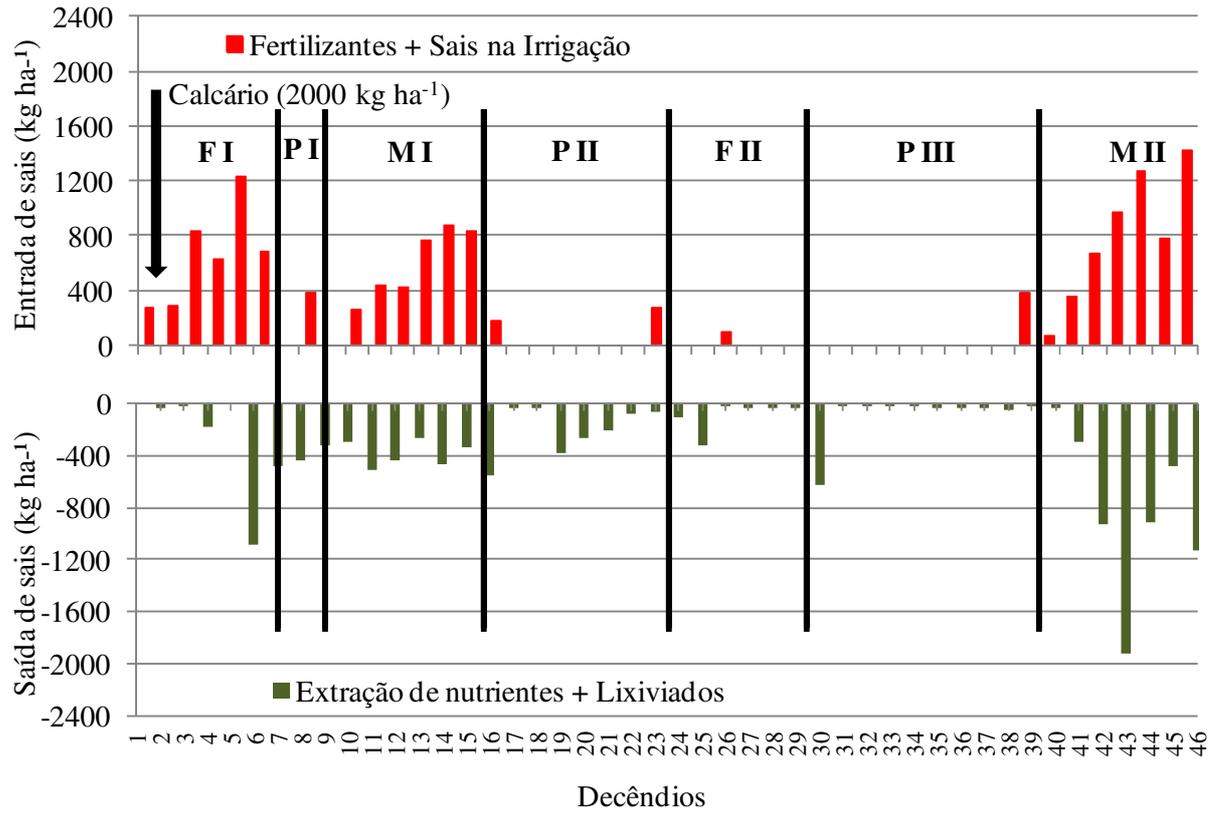
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 17. Balanço decennial de sais do solo para o tratamento (C2FL0).



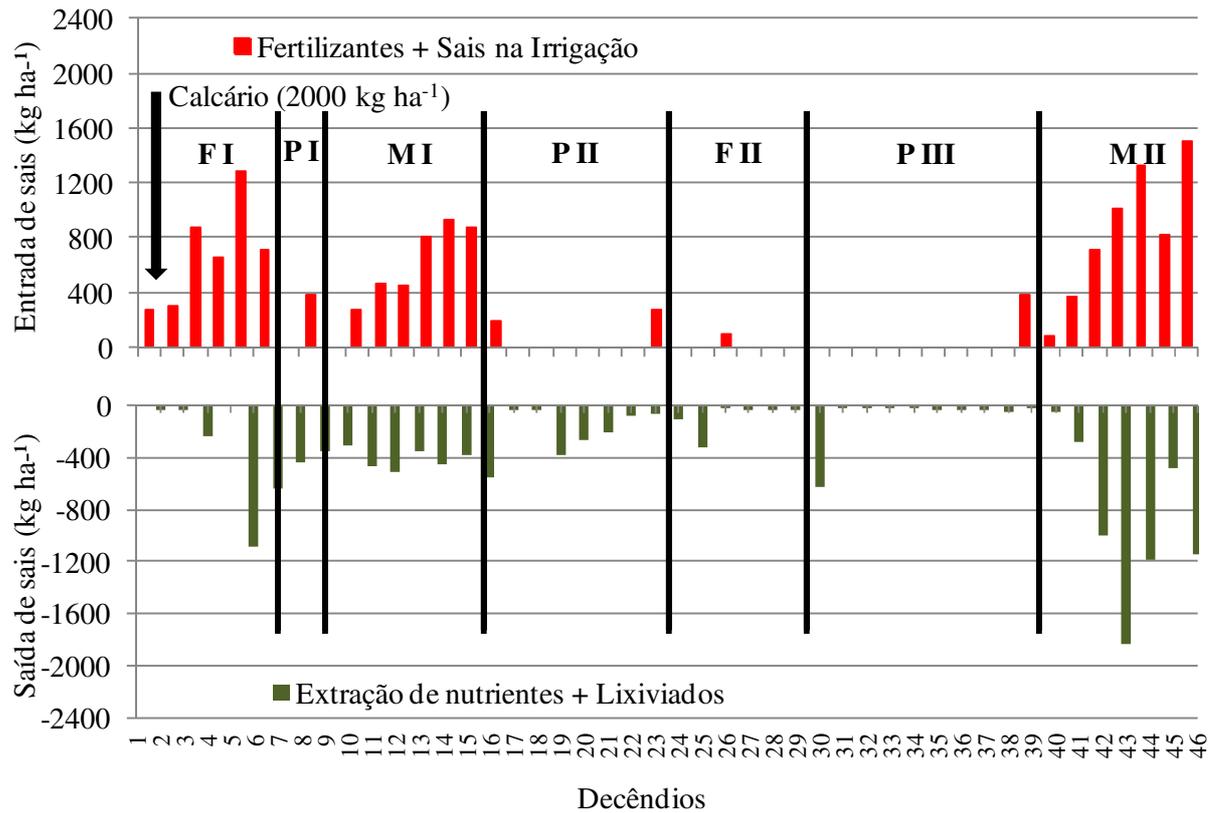
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 18. Balanço decennial de sais do solo para o tratamento (C2FL5).



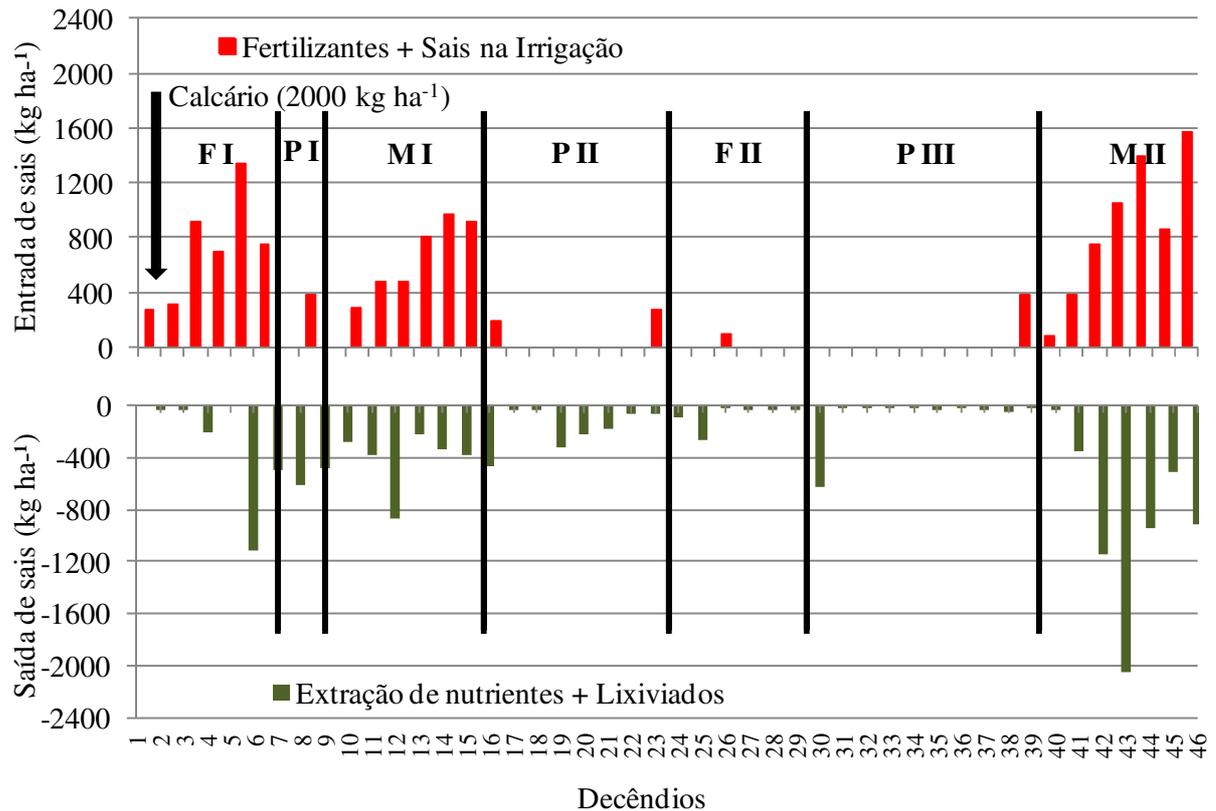
FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 19. Balanço decennial de sais do solo para o tratamento (C2FL10).



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 20. Balanço decennial de sais do solo para o tratamento (C2FL15).



FI: primeiro cultivo de feijão, PI: primeiro pousio, MI: primeiro cultivo de milho, PII: segundo pousio, FII: segundo cultivo de feijão, PIII: terceiro pousio e MII: segundo cultivo de milho.

Figura 21. Balanço decennial de sais do solo para o tratamento (C2FL20).

Na Figura 22 está apresentada a quantidade de sais extraídos pelos cultivos ao longo do experimento, observa-se que a água de irrigação menos salina ($CE\ 1,2\ dS\ m^{-1}$), as plantas absorveram íons em menor quantidade, embora se observe maior absorção para a fração de lixiviação de 10%. Isto foi devido o equilíbrio da concentração de sais na rizosfera. Observa-se o inverso no tratamento sem fração de lixiviação, devido à redução do potencial osmótico e aumento de sais na zona da raiz das plantas. No tratamento com lixiviação de 20% é observada situação semelhante, no entanto, a redução da absorção é provocada pela lixiviação excessiva de sais provocando déficit. Resultado semelhante foi observado por Carvalho et al. (2012) cultivando milho irrigado por gotejamento e utilizando águas de condutividade elétrica semelhante e mesmas frações de lixiviação na Região Metropolitana de Recife.

Comportamento semelhante para a extração de nutrientes foi observado quando se irrigou com água salina de $3,3\ dS\ m^{-1}$; embora verifique-se que as plantas conseguiram extrair maior quantidade de nutrientes. Este aumento na extração ocorrido pode ter sido em função da maior disponibilidade de íons para a planta, ou mesmo um aumento na concentração. Conforme Malavolta (2006), o balanço de nutrientes do solo em equilíbrio com a necessidade

da cultura promove maior incremento da fertilidade e resulta em aumentos de produtividade com consequente extração de íons. Entretanto, o excesso de íons pode ocasionar problemas de toxidez.

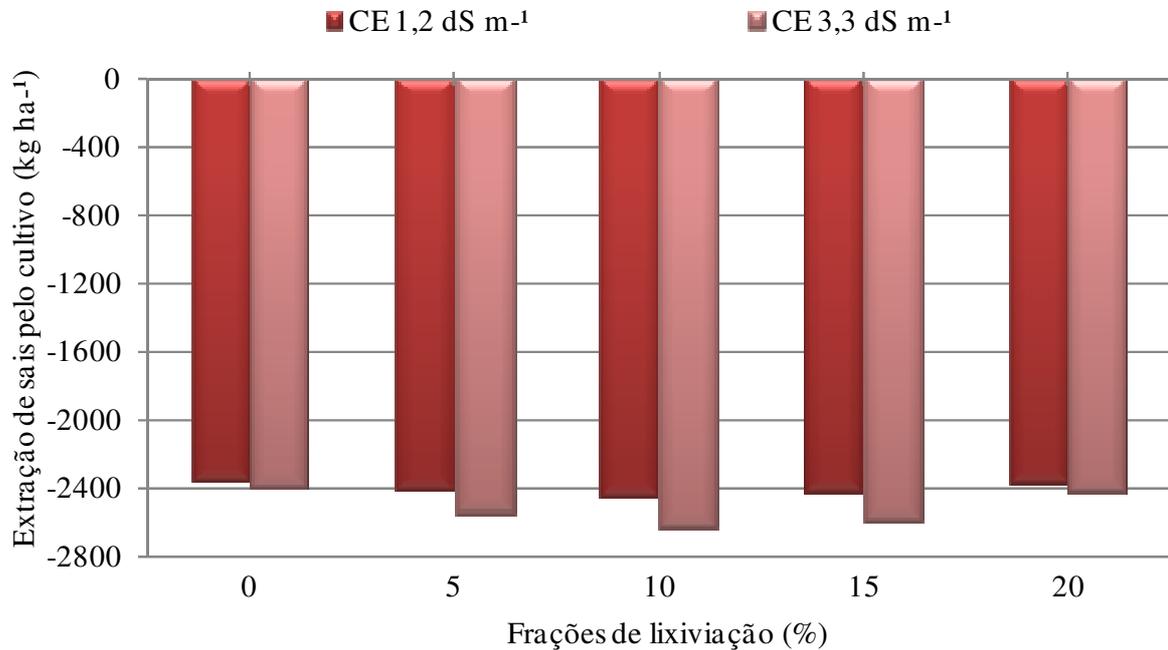


Figura 22. Extração de sais pelos cultivos ao longo do experimento irrigado com água de dois níveis salinos e variadas frações de lixiviação.

Nas Figuras 23 e 24 estão apresentados os balanços de sais para todo o período estudado (460 DAE) com a contribuição separada de cada componente, analisando a fração de lixiviação isoladamente. Considerando a entrada de sais via água de irrigação e a saída pela lixiviação a água de irrigação com condutividade elétrica de 3,3dS m⁻¹ (Figura 23) em relação a água com condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹ (Figura 4) a contribuição corresponde a valores com aproximadamente três vezes a mais.

Torna-se importante ressaltar que a componente fertilizante apresenta valor constante independente da variação da fração de lixiviação e da condutividade elétrica (Figuras 23 e 24); isto porque mesma quantidade era aplicada para todos os tratamentos. Em termos de quantidade, foram aplicados 1.722 kg ha de fertilizantes ao longo do experimento.

A entrada de sais no solo via água de irrigação variou devido à variação da lâmina que é função da evapotranspiração de referência e das fases fenológicas dos cultivos; no caso do presente estudo, houve variação também devida, a condutividade elétrica da água de irrigação e das frações de lixiviação adicionadas.

A variação da quantidade de sais tendo como fonte os fertilizantes em termos percentuais foi calculada comparando os respectivos valores de sais fertilizantes com os valores totais de fertilizantes mais sais na irrigação para as frações de lixiviação de 0, 5, 10, 15 e 20%, e corresponderam a 29,44%, 28,29%, 27,22%, 26,23% e 25,35%, respectivamente, para a água com condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹ (Figura 23) e a 13,18%, 12,55%, 11,97%, 11,45% e 10,99% para a água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹. Com o aumento da condutividade elétrica da água o percentual da contribuição dos sais fertilizantes é reduzido em relação ao total de sais de entrada no sistema solo (Figura 24).

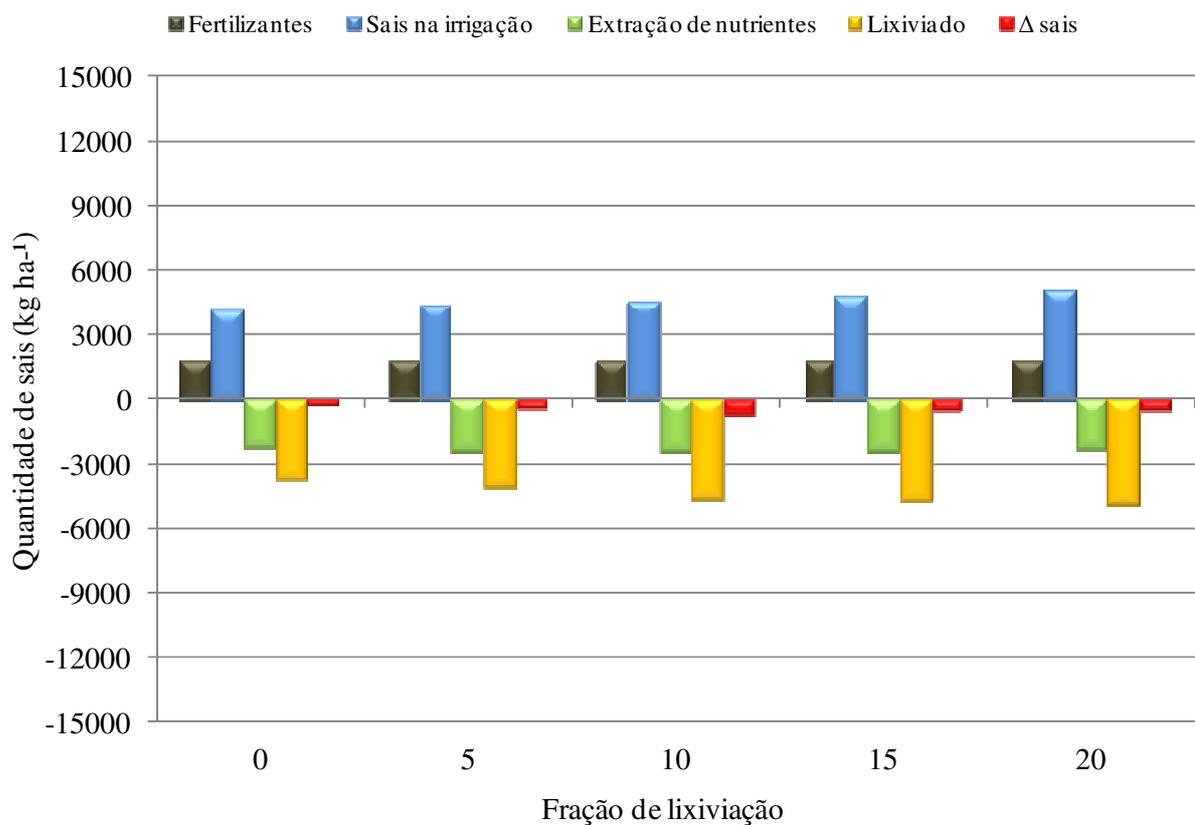


Figura 23. Balanço de sais no ambiente experimental irrigado com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹.

Com relação à contribuição da extração de sais pelos cultivos, foi observado que o aumento das frações de lixiviação reduziu o percentual dos sais no solo, e como as plantas mantiveram o nível de extração constante, as extrações em termos percentuais foram reduzidas seguindo a ordem de 39,37%, 39,58%, 38,25%, 36,76% e 34,42%, respectivamente, comparando as mesmas frações de lixiviação em relação ao total de entrada de sais do balanço (Figura 23); este mesmo comportamento é observado para a água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹, porém, com a contribuição da extração de sais ainda mais reduzido em termos de

percentual do total da entrada de sais (Figura 24). Os percentuais extraídos pelos cultivos são 17,93%, 18,49%, 18,24%, 17,17% e 15,43% respectivamente, em relação ao total de sais fertilizantes mais sais na irrigação.

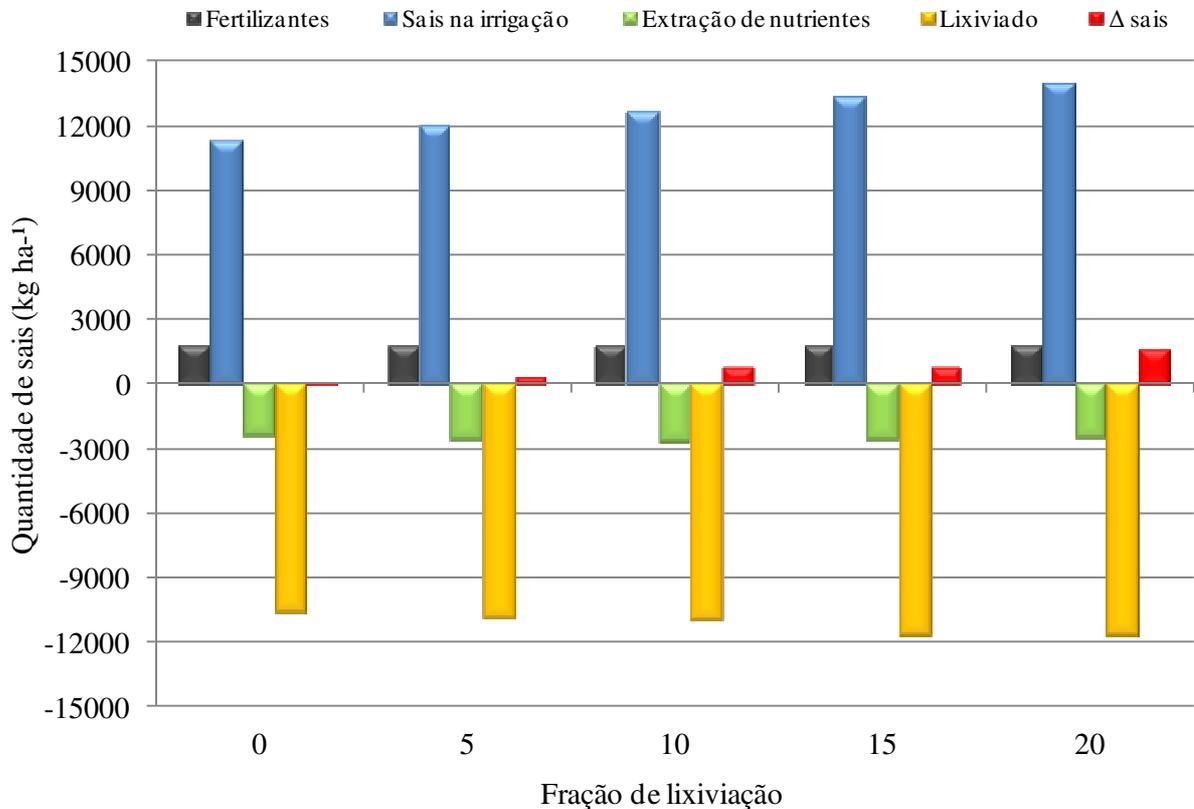


Figura 24. Balanço de sais no ambiente experimental irrigado com água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹.

A componente lixiviado contribuiu com a retirada do total de sais que entrou no sistema com percentagens de 64,80%, 68,28%, 72,81%, 71,63% e 72,71% para as respectivas frações de lixiviação de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% quando se irrigou com água de 1,2 dS m⁻¹ (Figura 23); com o aumento da salinidade da água e dos sais no solo, houve incremento da retirada pela componente lixiviado em 81,18%, 78,97%, 76,13%, 77,60% e 74,67%, embora seja observado que o aumento crescente das frações de lixiviação e a conseqüente quantidade de sais no solo os percentuais foram reduzidos (Figura 24).

Observando a Figura 23, verifica-se que houve déficit da componente variação de sais no solo em todas as frações de lixiviação; a atuação da componente extração de nutrientes mais lixiviado poderiam exaurir os sais do solo, devido o caupi ser uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, suportando condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹ na água de irrigação sem perda de produtividade (MAAS, 1984) no entanto, o milho é

classificado como uma espécie moderadamente sensível à salinidade tolerando $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica na água de irrigação, sendo esta considerada sua salinidade limiar, desse modo, nas condições de salinidade da água de irrigação a que os cultivos foram submetidos, não houve alteração de seu estado de homeostase. Já em relação a irrigação com água de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ houve excedente de sais do solo para todas as frações de lixiviação, mesmo com a extração de nutrientes e do lixiviado.

Nas Figuras 25 e 26 são apresentados os balanços de sais do cultivo de feijoeiro I para cada tratamento, e se observa que a componente do balanço de maior contribuição foi a componente sal na irrigação, em decorrência da quantidade de sais na água e da necessidade hídrica da cultura. Para quantificar a contribuição de cada componente se baseou na entrada de sais via irrigação.

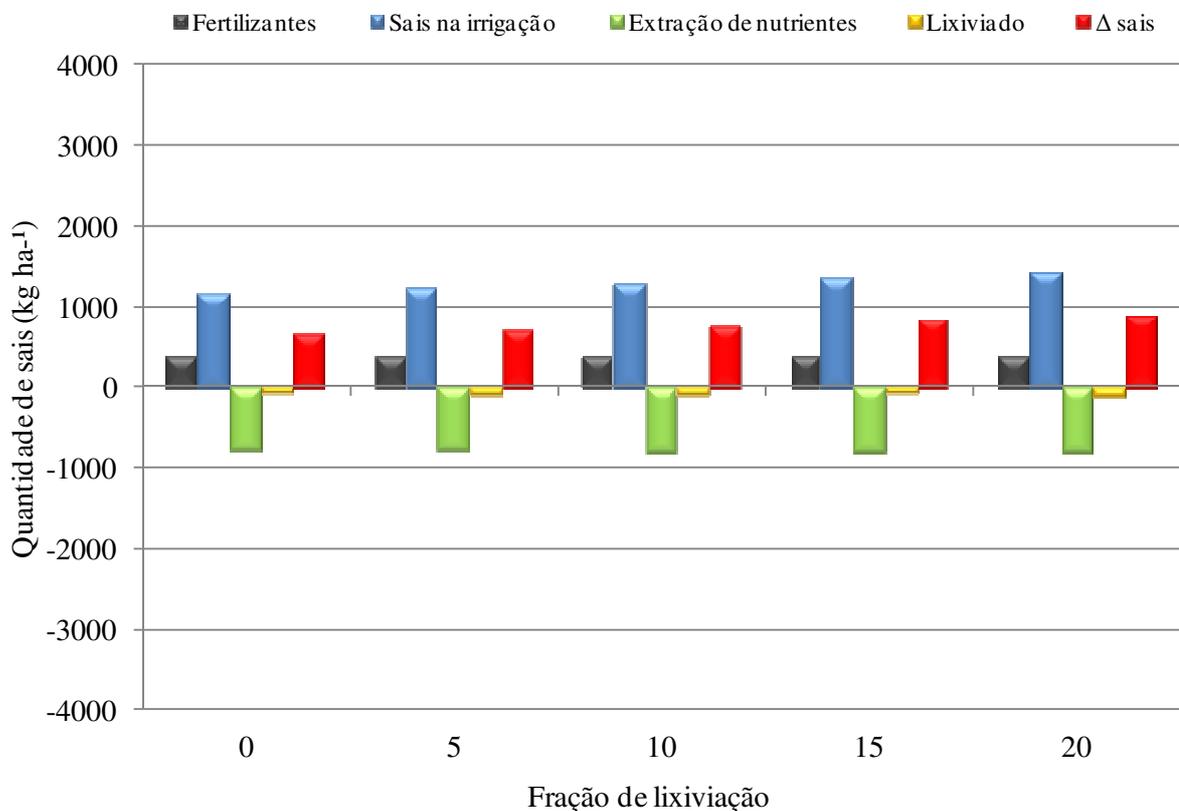


Figura 25. Balanço de sais no primeiro cultivo de feijoeiro (FI) irrigado com água de condutividade elétrica de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$.

A componente fertilizante contribuiu em termos percentuais com 31,50%, 29,83%, 28,33%, 26,97% e 25,74%, para as respectivas frações de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em condições de água de salinidade de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$; sua contribuição no balanço foi reduzida para

11,46%, 10,89, 10,30%, 9,81% e 9,36% com o incremento da salinidade da água de irrigação (Figura 26).

A extração de nutrientes pela cultura foi responsável por 68,91%, 65,18%, 62,73%, 59,78% e 56,65% em condições de água de 1,2 dS m⁻¹ (Figura 25); e com 25,32%, 24,05%, 23,09%, 21,61% e 20,85% nas condições de água com nível salino mais elevado 3,3 dS m⁻¹. A absorção de sais pela planta está limitada ao grau de tolerância aos níveis salino e a seu potencial genético, admitindo-se igualdade da fertilização do solo, adubação calagem e do manejo (MALAVOLTA, 2006).

É importante ressaltar que a chuva é responsável pela lixiviação de sais do solo, conforme observado por Bezerra et al. (2010) em rotação cultural com feijão e milho em Fortaleza – CE. Gabriel et al. (2012) também trabalhando com rotação de cultivos em Madri Espanha, cultivando cevada e milho entre outros, observaram que durante os cultivos a salinidade aumentava, enquanto durante os pousios havia redução devido a ocorrência de chuvas. Na presente pesquisa foi constatada in loco redução drástica dos sais do solo em decorrência de eventos de chuva, embora durante o cultivo I de feijoeiro o volume precipitado foi da ordem de 153 mm distribuídos ao longo do cultivo justificando o acúmulo de sais.

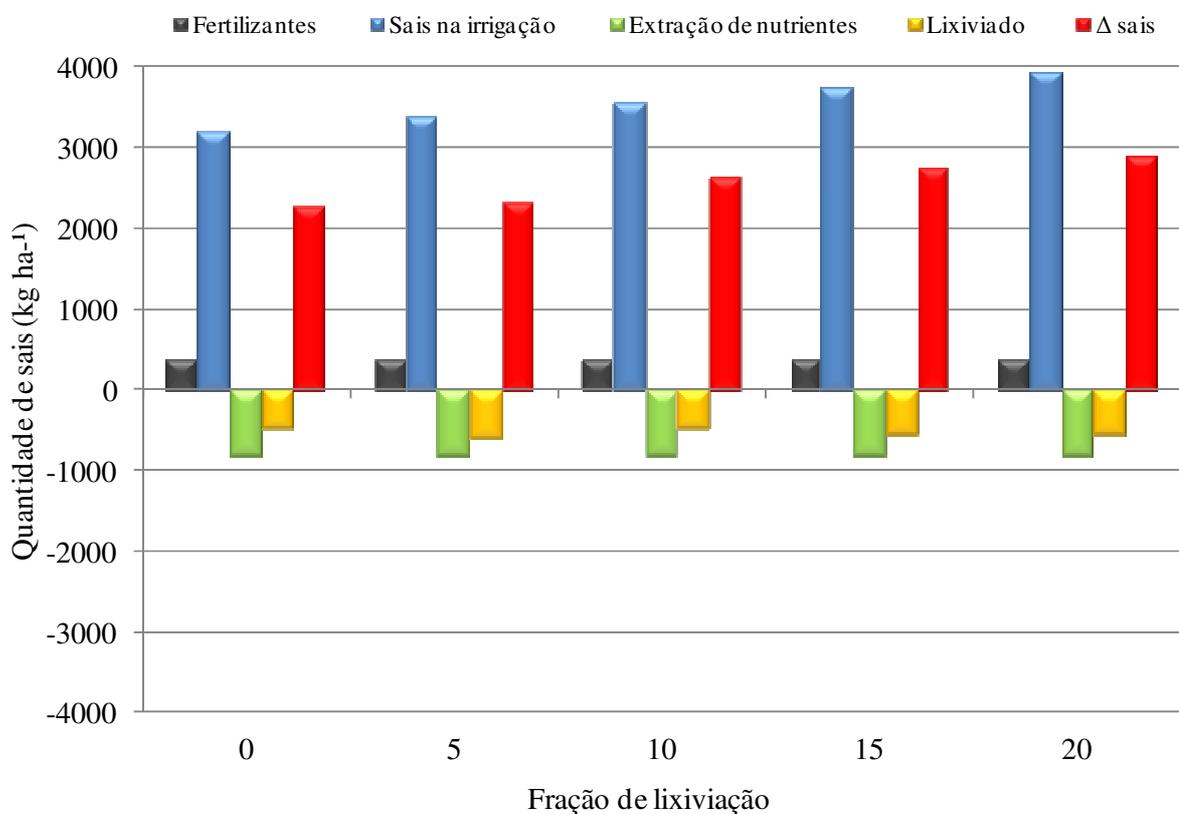


Figura 26. Balanço de sais no primeiro cultivo de feijoeiro (FI) irrigado com água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹.

Com a água de menor nível salino a componente lixiviado contribuiu com 5,70%, 7,42%, 6,64%, 5,02% e 7,02% para as respectivas frações de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%; o incremento do percentual de sais de lixiviado com o aumento das frações de lixiviação é em função do manejo das lâminas de água e da evapotranspiração de cultivo. Outro fator que influencia na variação da quantidade de sais de entrada e saída do sistema de cultivo é a redução da uniformidade de distribuição de água pelos gotejadores. Na Figura 26 é observado incremento do lixiviado se comparado com a Figura 25, em termos percentuais da saída de sais em relação a componente sal na irrigação os valores corresponderam a 14,87%, 17,86%, 13,41%, 15,0% e 14,29% para as respectivas frações de lixiviado.

Nas Figuras 25 e 26 é observado excedente de sais mesmo com a retirada pela componente extração de nutrientes e lixiviado, incremento ainda maior é observado para a irrigação com água de 3,3 dS m⁻¹; esses sais afetam a cultura com reflexo maior sobre a produtividade do cultivo pelo menos nos tratamentos sem fração de lixiviação e naquele com fração reduzida, quando é aumentada a fração de lixiviação os sais passam a percolar abaixo da zona radicular do cultivo minimizando os efeitos negativos causados pela redução do potencial osmótico.

A elevada quantidade de fertilizantes (Figuras 27 e 28) no final do PI é função da adubação de fundação do cultivo MI que ocorreu no DAE 89 e como o balanço foi realizado a cada dez dias, tal contabilização ainda fez parte. Nas Figuras 27 e 28 e apresentado o PI e as componentes de entrada e saída dos sais do experimento, as componentes sais na irrigação e extração de nutrientes foram desprezadas.

Verifica-se a lixiviação drástica dos sais do solo independente da fração de lixiviação (Figuras 27 e 28), a importância dos pousios era para se verifica o efeito da chuva na lixiviação dos sais acumulados no solo durante cada cultivo. Durante o PI houve distribuição de 59,0 mm de chuva reduzindo a salinidade do solo a 1,40 dS m⁻¹ mesmo quando se irrigou com água de nível salino mais elevado (Tabelas 2 e 3).

Na Figura 28 é observada maior quantidade de sais lixiviado em relação à Figura 27, isto porque a água de irrigação apresentava salinidade 3,3 dS m⁻¹ por isso acumulava mais sais. Observando a Figura 27 é possível constatar que a irrigação acumulou menor quantidade de sais, devido a eventos de precipitação.

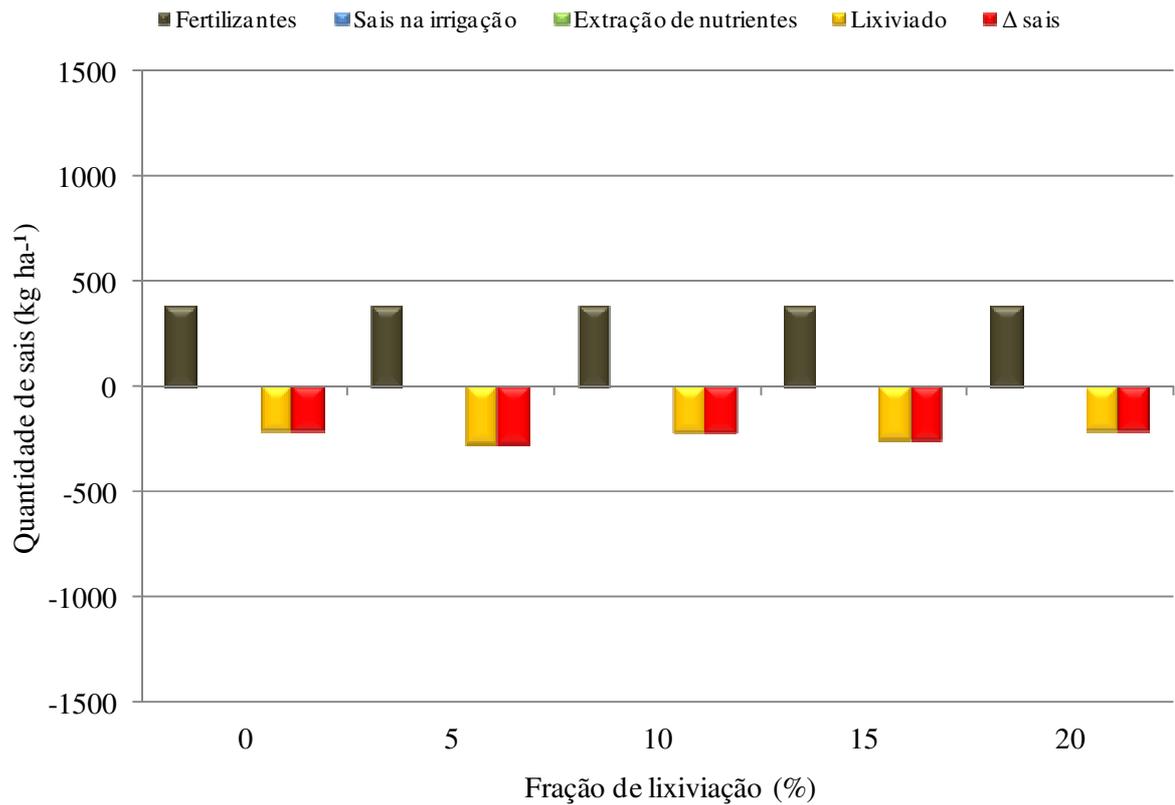


Figura 27. Balanço de sais do primeiro pousio (PI) irrigado com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹.

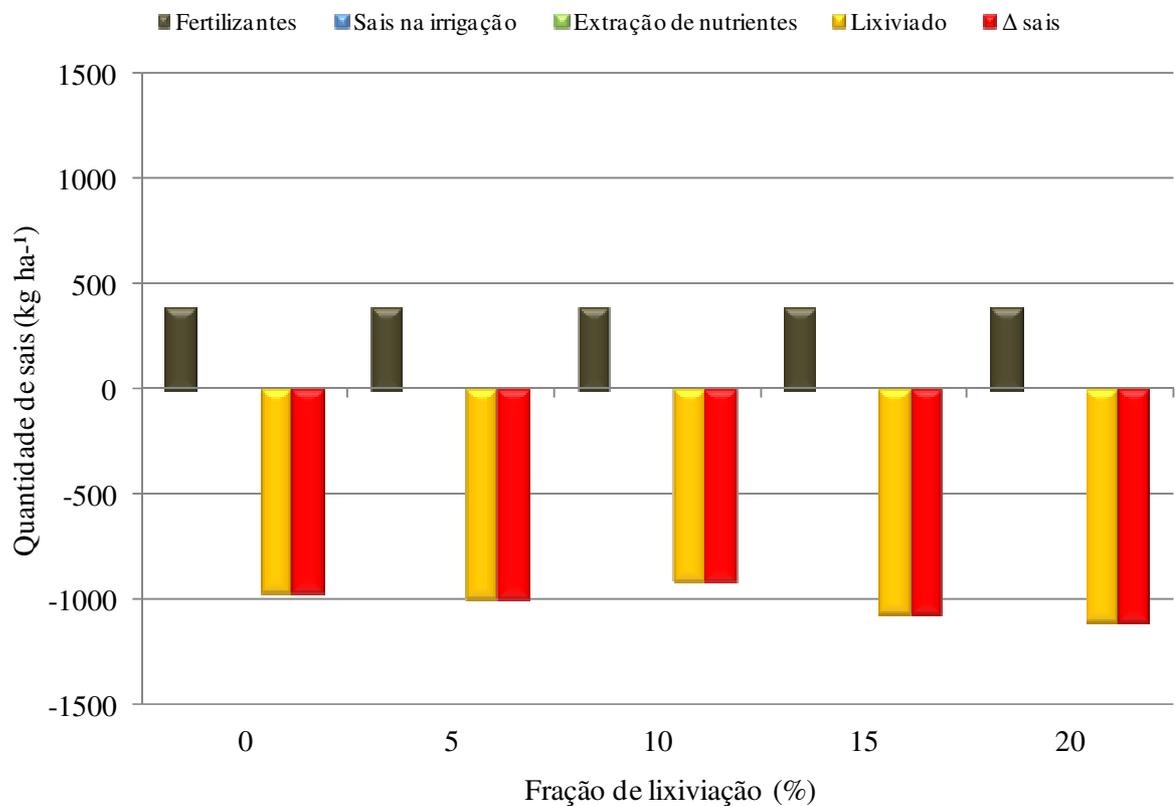


Figura 28. Balanço de sais do primeiro pousio (PI) irrigado com água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹.

Nas Figuras 29 e 30 é apresentado o balanço de sais do cultivo MI em função das frações de lixiviação e da água de diferentes níveis salino, fizeram parte do balanço a componente fertilizante, sais na irrigação, extração de nutrientes, lixiviação e variação de sais no solo.

A componente fertilizante se manteve constante independente da fração de lixiviação, devido sua distribuição ser comum a todos os tratamentos e também é referente à aplicação de cobertura, diferentemente dos sais da água de irrigação que era função da evapotranspiração, da fase fenológica dos cultivos e das frações de lixiviação. Observa-se nas Figuras 29 a 32,

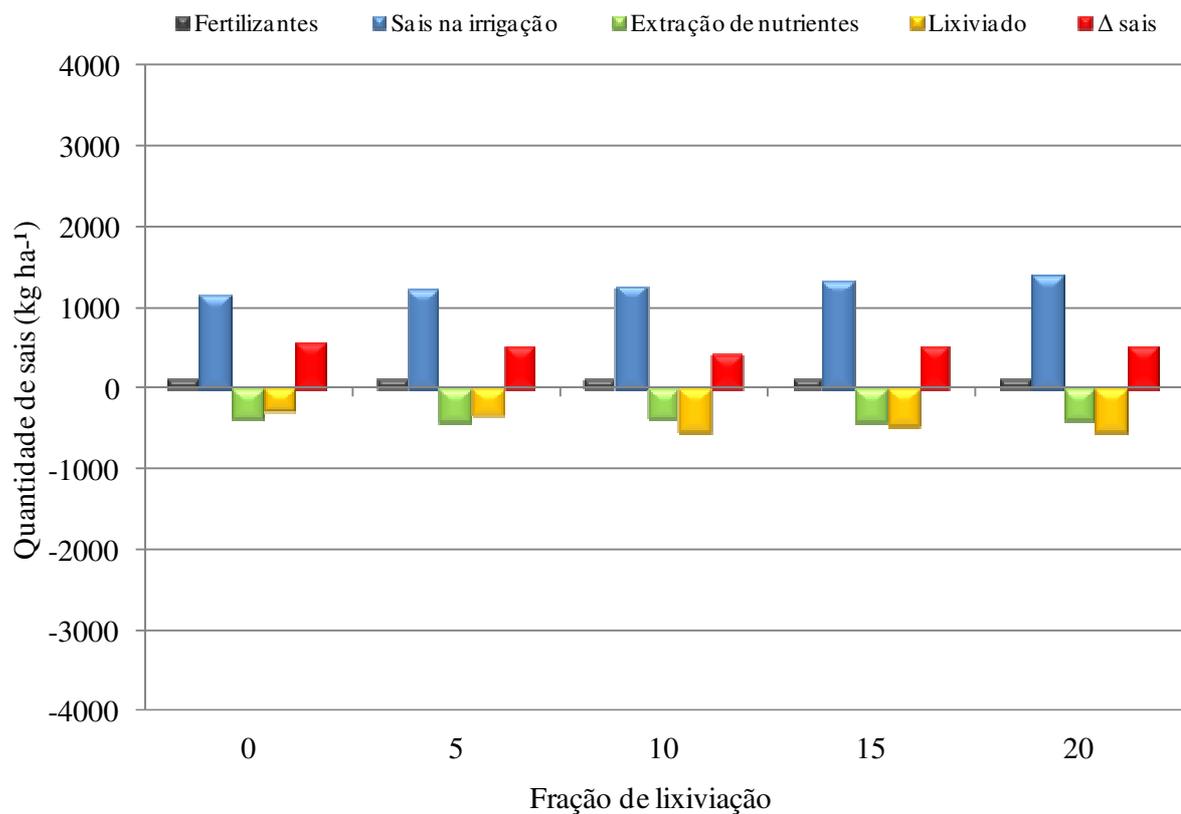


Figura 29. Balanço de sais do primeiro cultivo de milho (MI) irrigado com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹.

que o incremento das frações de lixiviação resultou em acúmulo de sais no solo; embora se verifique incremento nos valores de drenado é notável que o solo manteve salinização constante durante os períodos que as culturas permaneciam no campo. Assis Júnior et al. (2007) aplicando frações de lixiviação de 14 e 28% e irrigando com água de 0,8 e 5 dS m⁻¹, em Argissolo Vermelho Amarelo perceberam que a fração de lixiviação de até 14% acumulava sais e a fração de lixiviação de 28% proporcionava níveis de sais que não prejudicaram o desenvolvimento das culturas.

Em relação à variação de sais, é observado que quando se irrigou com água menos salina o solo manteve-se constante (Figuras 29 e 31), independente das frações de lixiviação aplicadas e da ocorrência de chuva; nos tratamentos irrigados com água de salinidade de 3,3 dS m⁻¹, (Figuras 30 e 32), é observado comportamento diferenciado para a componente variação de sais. Na Figura 30, é observado acúmulo de sais para o tratamento com fração de lixiviação de 0% e incremento ainda maior para o tratamento com fração de lixiviação de 5%.

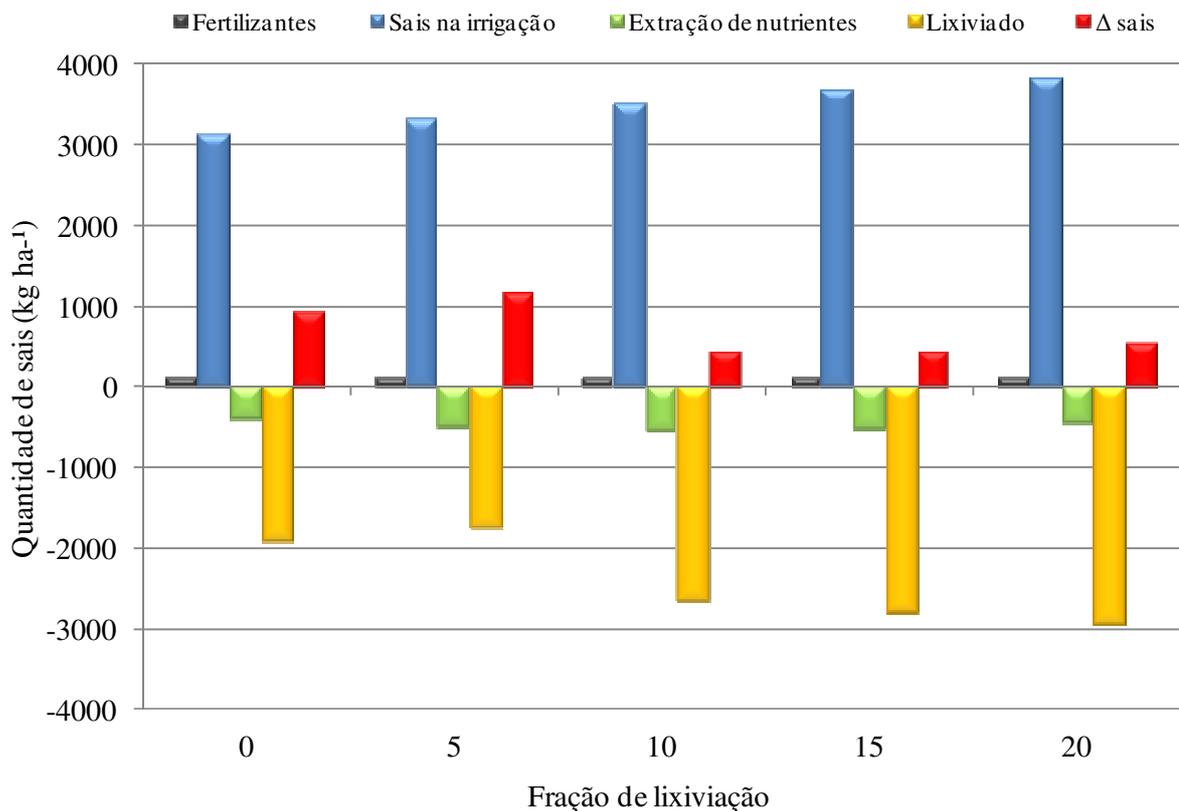


Figura 30. Balanço de sais do primeiro cultivo de milho (MI) irrigado com água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹.

Este incremento da componente variação de sais observado nas frações de lixiviação de 0 e 5%, foi um processo que teve origem no cultivo FI, e embora o pousio entre os cultivos FI e MI tenha sido marcado por 59 mm de chuva distribuídos em 29 dias não foi suficiente para lixiviar os sais, porque a lixiviação do solo depende da intensidade da chuva e de sua estrutura. Nas frações de lixiviação a partir de 10% a quantidade de sais se manteve reduzida, porque o efeito das frações foi mais acentuado. Este resultado corrobora com aquele encontrado por Lima (1998) cultivando feijoeiro em lisímetros de drenagem em um Argissolo Vermelho Eutrófico, durante os meses de Março a Junho.

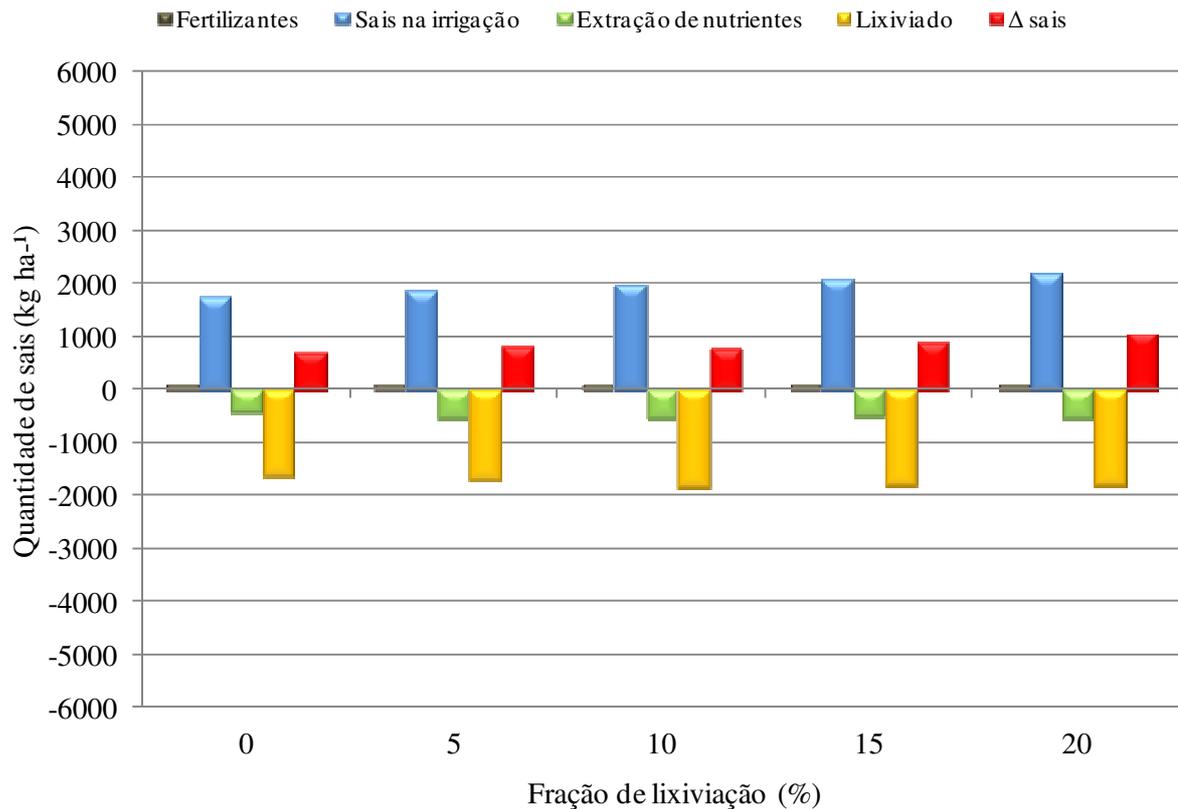


Figura 31. Balanço de sais do segundo cultivo de milho (MII) irrigado com água de condutividade elétrica de 1,2 dS m⁻¹.

O comportamento da componente variação de sais no cultivo MII compreendido entre os decêndios 390 e 460 (Figura 32), é observada variação de armazenamento de sais com comportamento crescente em função do aumento das frações de lixiviação. Este incremento crescente da variação de sais no solo foi em função do aumento das lâminas de água resultando em maior entrada de sais pela água de irrigação. Este resultado se assemelha aos resultados encontrados por Barros et al. (2012) estudando o efeito da irrigação na lixiviação de sais e utilizando água dos canais de Violada em Zaragoza na Espanha, eles observaram que a ausência de drenagem havia incremento linear da salinidade do solo, no entanto, a ocorrência de drenagem ocasionava o inverso com os sais.

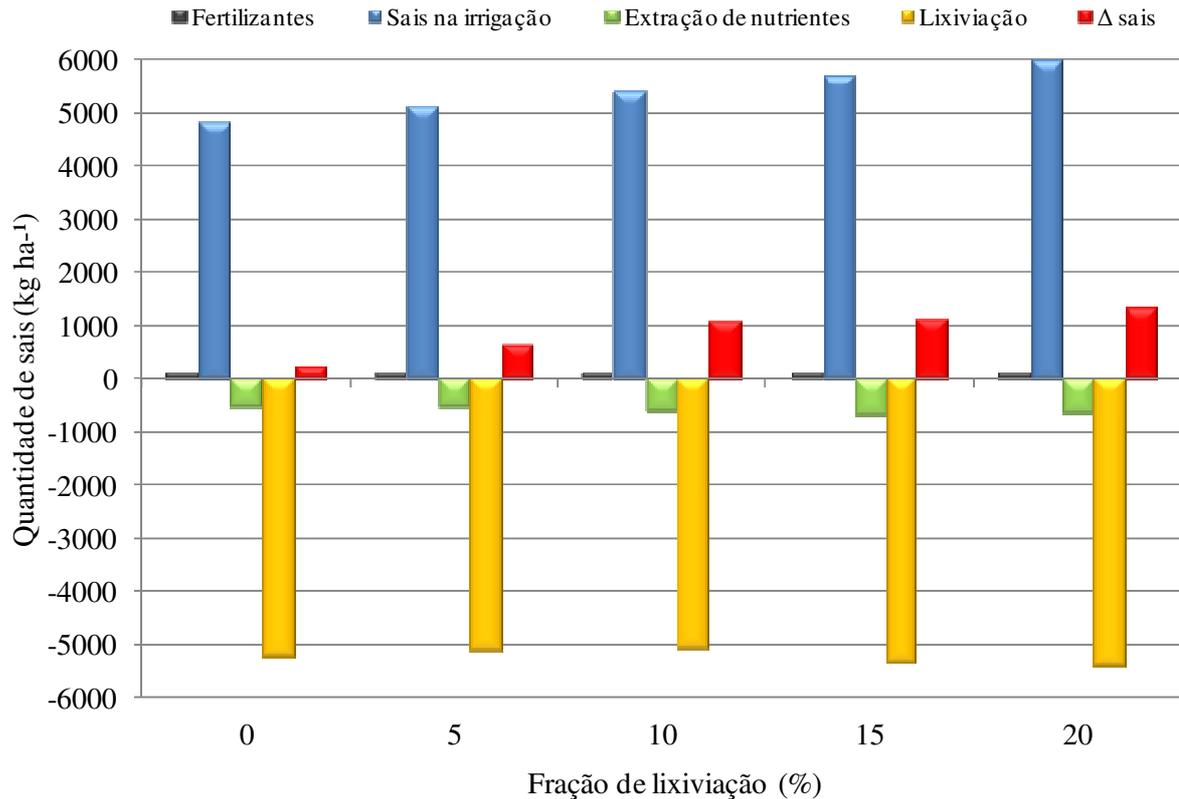


Figura 32. Balanço de sais do segundo cultivo de milho (MII) irrigado com água de condutividade elétrica de 3,3 dS m⁻¹.

CONCLUSÕES

O aumento na fração de lixiviação proporcionou maior saída de sais do perfil do solo independente da salinidade estudada, entretanto, durante os períodos de cultivo não preveniu o acúmulo de sais, principalmente para a maior salinidade da água de irrigação;

Os períodos de pousio foram fundamentais na redução da salinidade do solo e as chuvas intensas proporcionaram reduções drásticas nos sais armazenados no solo arenoso utilizado na pesquisa;

A extração de nutrientes pelas plantas foi superior à aplicação de fertilizantes em massa, comprovando assim que ocorreu uma lixiviação de nutrientes;

Com a aplicação da técnica de lixiviação de sais é possível se manter o sistema em equilíbrio de sais e conseqüentemente produtivo para culturas com limites de salinidade inferiores aos proporcionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V. DE; DANTAS NETO, J.; SILVA JÚNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.671-679, 2009.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración Del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de lós cultivo**. Roma, 2006 (Estudio FAO Riego y drenaje 56).

ANDRADE, C. L. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. Sete Lagoas, **Circular técnico**, 2006.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-acúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.76-84, 2012.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo me função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande. UFPB. 1999. 218p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29. rev.1

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, SP, v.13, p.182-190, 2008.

BARROS, R.; ISIDORO, D.; ARAGÜÉS, R. Three study decades on irrigation performance and salt concentrations and loads in the irrigation return flows of la Violada irrigation district (Spain). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 151, p.44-52, 2012.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e Bioquímicas em plantas**. Recife, Ed. Universitária da UFRPE, 2011. 267p. il.

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão-caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p.1075-1082, 2010.

CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M. H. V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n. 4, p.368-374, 2012.

DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; SILVA, F. V.; BARROS, A. D. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n.2/3, p.240-246, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.570–578, 2006.

GABRIEL, J. L.; ALMENDROS, P.; HONTORIA, C.; QUEMADA, M. The role of cover crops in irrigated systems: Soil salinity and salt leaching. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 158, p. 200– 207, 2012.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.329-346.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 1. ed. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). 1995. 497p.

LIMA, V. L. A. **Efeitos da Qualidade da Água de Irrigação e da Fração de Lixiviação sobre a Cultura do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Condições de Lisímetro de Drenagem**. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Ceres. 2006. 638p.
- MAAS, E.V. Salt tolerance of plants. *In* B.R. Christie (ed.) **Handbook of plant science in agriculture**. CRC Press, Boca Raton, FL. 1984.
- MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 271, 1978.
- MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. **Agricultural Water Manage**, Amsterdam, v.81, n.1-2, p.98-114, 2006.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia-goteomicroaspersor-exudacion**. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60
- SANTOS, A. N., SOARES, T. M., SILVA, E. F. F., SILVA, D. J. R., MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.961-969, 2010.
- SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para a região norte de Recife-Pe. **Engenharia na agricultura**, viçosa - MG, v.20 n.2, p.163-174, 2012.

CAPITULO III

MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA APLICANDO FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO EM CULTIVOS ROTACIONADOS DE FEIJÃO-CAUPI E MILHO NO LITORAL PERNAMBUCANO

Manejo da irrigação com água salina aplicando frações de lixiviação em cultivos rotacionados de feijão-caupi e milho no litoral pernambucano

Resumo: Nesta pesquisa avaliou-se o efeito de níveis de salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação sobre a produtividade em sistema de rotação cultural utilizando feijão-caupi e milho cultivados em lisímetros com Neossolo Quartzarênico. O estudo foi realizado na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Doutor Ronaldo Freire de Moura, no Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Recife. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5 com quatro repetições, aplicando dois níveis de água salina e cinco frações de lixiviação. Foram avaliados o número de vagens por planta (NV), massa fresca de vagens (MFV), massa seca de vagens (MSV), massa de 100 grãos (M100G), comprimento de vagens (CMV), produtividade de grãos por hectare (PROD), número de plantas da parcela (NP), biomassa fresca de plantas por hectare (MFP_{ha}), biomassa fresca da parte aérea por planta (MFPL) e biomassa seca da parte aérea por planta (MSPL) em feijão-caupi; número de espigas por parcela (NE), diâmetro de espigas sem palhas (DSP), diâmetro de espigas com palhas (DCP), massa fresca de palhas de espigas (MFPE), massa fresca de sabugos (MFSAB), produtividade de grãos hidratados (PRODH), produtividade de grãos desidratado (PRODD) em milho; eficiência de uso da água (EUA) e índice de colheita (IC) em ambos feijão-caupi e milho. A fração de lixiviação de 10% pode ser recomendada nas condições do presente estudo, independente da condutividade elétrica da água que se irrigou, além disso, a prática de lixiviação no manejo de sais quando se irriga solo de textura arenosa com água salina mantém os sais abaixo da rizosfera das plantas permitindo produtividades próximas a média recomendada para estas culturas.

Palavras-chave: cultivo alternado, aplicação de água, produtividade, salinidade.

Irrigation management saline water applying leaching fraction rotationed crops cowpea and corn in the coast from Pernambuco state.

Abstract: In this research to evaluate the effects of levels of salinity water irrigation and leaching fractions about the productivity in system of rotated crop cowpea and corn cultivated

in lysimeters on Quartz-Sand Neosol. The study was accomplished in the Experimental Station of Agriculture Irrigated Doctor Ronaldo Freire de Moura, in the Department Rural Technology of Rural Federal University from Pernambuco, Campus Recife. The experimental design was completely randomized in factorial scheme 2x5 with four replications, adopting two levels of salinity and five leaching fraction with cowpea and corn in rotated crop. Was analyzed number of fruit (NV), Fresh mass of fruit (MFV), dry mass of fruit (MDV), mass dry of hundred grains (M100G), length of fruit (CMV), productivity grains for hectare (PROD), number plants of the portion (NP), fresh biomass plants for hectare (MFPha), fresh biomass aerial part of the sample (MFPL), dry biomass aerial part of the sample (MSPL) in crop cowpea; number corn ears of portion (NE), diameter corn ears without straws (DSP), diameter corn ears with straws (DCP), fresh mass straws of corn ears (MFPE), fresh mass corn cobs (MFSAB), corn hydrated pulp yield (PRODH), corn dehydrated pulp yield (PRODD) in crop corn, water use efficiency (EUA), crop index (IC) in both cowpea and corn. The leaching fraction of 10% can is recommended in conditions of present study, independent of electric conductivity water irrigation, besides, the leaching practice management of salts when soil sandy is irrigated with saline water it maintains the salts below rizosfera of the plants allowing productivity next average recommended for these crops culture.

Keywords: alternate crops, water application, productivity, salinity.

INTRODUÇÃO

A adoção da irrigação utilizando água salina para a produção de grãos é um desafio que está se superando no planeta através da aplicação de técnicas adequadas de manejo como o cultivo de variedades tolerantes, rotação de culturas e adição de lâminas de água superior à quantidade requerida para suprir a evapotranspiração da cultura. O emprego adequado dessas técnicas permite o uso racional de águas de qualidade inferior existentes na região, utilizando solos de textura arenosa sem riscos para a agricultura (BEZERRA et al., 2010).

A rotação de culturas vem sendo estudada em diversas partes do mundo em conjunto com outras técnicas como a mistura de águas de diferentes qualidades (SANTOS et al., 2010) utilizada nas diferentes fases fonológicas das culturas. A utilização dessas técnicas permite o uso de forma racional das águas de baixa qualidade incorporando também ao sistema produtivo, áreas com algum nível de degradação, mas que torna possível a produção de alimentos.

Mesmo com o surgimento dos avanços tecnológicos, milhões de hectares no planeta continuam sendo salinizados contribuindo severamente para a redução da produção agrícola (KHAN e ABDULLAH, 2003). Estudos mostram que cerca de 25% a 30% da área irrigada do planeta esta degradada em virtude da adição de sais provenientes da irrigação (FERREIRA et al., 2006). Na região semiárida do nordeste brasileiro, uma área de aproximadamente seis milhões de hectares apresenta potencial para irrigação. Entretanto, 25% dos perímetros com irrigação estão salinizados (GOMES et al., 2000), devido à ausência de técnicas de manejo adequado de irrigação.

O grande crescimento populacional do planeta e o aumento da demanda por alimentos despertaram a preocupação por melhor aproveitamento do solo e da água para a produção de alimentos. Assim, a utilização de águas salinas para irrigação e ou de solos com problemas de toxidez de cátions e ânions para produção de grãos tem alcançado sucesso, através da utilização de espécies tolerante à salinidade e da adoção de práticas adequadas de manejo para as culturas, solo e água de irrigação.

A técnica da lixiviação dos sais do solo é realizada através da adição de uma quantidade de água superior àquela usada para repor a evapotranspiração da cultura. Assis Júnior et al. (2007), cultivando feijoeiro em Fortaleza CE e utilizando fração de lixiviação de 28% foi observado que o acúmulo de cloreto nos limbos foliares foi reduzido até valores iguais ao da água de poço. Em cultivo de beterraba Ferreira et al. (2006) utilizaram fração de lixiviação de 0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 do volume de poros do solo, constatando aumento da salinidade com a redução das lâminas de irrigação. Em estudos realizados com a cultura do feijão-caupi, testando interação entre o aumento da salinidade da água de irrigação e biofertilizante bovino Silva et al. (2011), verificaram efeitos danosos do biofertilizante sobre as variáveis fisiológicas e, conseqüentemente, menor eficiência na extração de nutrientes pelas plantas, enquanto que na água menos salina, o biofertilizante proporcionou melhorias na absorção de nutrientes.

Na busca de melhorar a eficiência de utilização dos recursos naturais em áreas submetidas a processos de salinização do solo, com a presente pesquisa pretendeu-se avaliar o efeito de níveis de salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação sobre a produtividade de grãos e espigas, em sistema de rotação cultural utilizando feijoeiro e milho verde cultivado em lisímetros no litoral Pernambucano sobre Neossolo Quartzarênico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Doutor Ronaldo Freire de Moura, localizada no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE; com coordenadas geográficas de 8° 01' 05" S e 34° 56' 48" W, e altitude de 6,5 m. O clima local, segundo Koppen é classificado como As megatermico tropical (tropical úmido), com temperatura média anual de 27°C, precipitação anual acima de 1700 mm (SILVA et al., 2012).

A área de pesquisa mede 18,00 m x 25,80 m, e é dotada de um sistema de 40 lisímetros de drenagem, equidistantes 1,20 m. Cada lisímetro tem capacidade de 1 m³, diâmetro externo na borda superior de 1,36 m, altura externa 0,75 m, profundidade 0,65 m, ficando uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo, evitando a entrada de água proveniente de escoamentos superficial. Existe também um sistema de drenagem de fundo integrado individualmente, a uma estação de coleta de efluente. O sistema tubular de polietileno mede 25 mm de diâmetro, disposto ao longo da circunferência junto ao fundo de cada caixa, com perfurações de 5 mm de diâmetro, distanciados 50 mm. Uma camada de brita zero de aproximadamente 50 mm de espessura e uma camada de areia lavada de aproximadamente 30 mm cobrem o sistema tubular. Esta tubulação interliga o sistema de drenagem à unidade de coleta para medição do efluente. O preenchimento dos lisímetros foi realizado com Neossolo Quartzarênico, conforme Albuquerque Filho et al. (2009), este solo apresenta as seguintes características físico-hídricas na camada de 0-20 cm: areia 91,07%; argila 3,60% e silte 5,33%. A condutividade hidráulica saturada do solo estudado foi de 13,17 cm h⁻¹. O solo foi caracterizado conforme a metodologia descrita (EMBRAPA, 1997).

As leituras de monitoramento do potencial mátrico para a camada de 0-20 cm foram realizadas através de tensiômetros de punção às 7 horas (Figura 1). As umidades do solo correspondentes a capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente são de 639 e 1500 kPa, respectivamente.

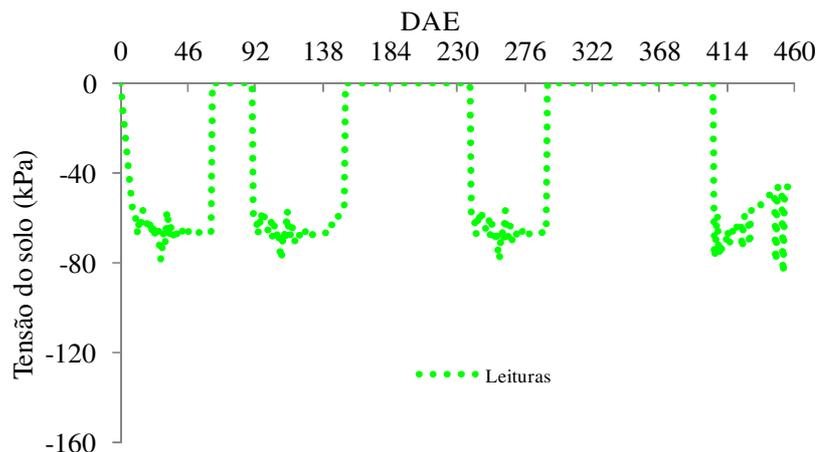


Figura 1. Monitoramento do potencial mátrico do solo medidos diariamente ao longo do experimento (DAE)

As leituras do potencial mátrico realizadas durante os cultivos de feijão-caupi e milho apresentadas na figura 1 estão dentro da recomendação (MAROUELLI, 2008).

O experimento teve duração de 460 dias e quatro cultivos alternados, com início em 22-08-2010 e término em 22-10-2010 para o cultivo de feijão-caupi I, início de cultivo do milho I em 9-11-2010 e término em 21-01-2011, início de cultivo do feijão-caupi II em 8-4-2011 e término em 8-6-2011 e o cultivo de milho II em 14-9-2011. O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) variedade BRS Tumucumaque, oriunda do banco de germoplasma da Embrapa Meio Norte, e milho (*Zea mays* L) híbrido AG 1051, adquirido na CEASA - PE. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEs (1,2 e 3,3 dS m^{-1}) x 5 frações de lixiviação – FLs (0, 5, 10, 15 e 20%), com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Existia uma bordadura de 2,5 m, cuja função, era proteger as parcelas de possíveis interferências externas ao experimento. Foi realizado tratamento fitossanitário para controlar pragas sempre que necessário, bem como capinas manuais para combater ervas daninhas.

Os tratamentos foram aplicados 15 dias após germinação. As águas salinas utilizadas nas irrigações foram preparadas em dois tanques de 0,5 m^3 , mediante adição de NaCl e CaCl_2 em quantidades de 370 e 630 g, respectivamente, para cada kg de sal utilizado. Para atingir as CEs de 1,2 e 3,3 dS m^{-1} , a mistura dos sais acima citados foi adicionada lentamente, sendo monitorada a condutividade elétrica até atingir os valores desejados. A intenção foi reproduzir condição semelhante à encontrada no semiárido brasileiro. Para a cultura do feijão-caupi a área útil foi 1,45 m^2 por parcela compreendendo três fileiras dentro de cada parcela experimental, espaçadas 0,6 x 0,10 m, com densidade de 163400 plantas ha^{-1} . O espaçamento

adotado para o milho foi 0,8 x 0,2 m e densidade de plantio de 62500 plantas por ha⁻¹, com mesma área útil do feijoeiro.

Utilizou-se sistema de irrigação tipo gotejamento superficial; linhas com comprimento de 15 m, espaçamento entre se 0,6 m, espaçamento entre emissores tipo autocompensantes 0,5 m; vazão média de 4,06 L h⁻¹ e pressão média de serviço de 13,5 mca. O sistema de irrigação foi avaliado pela determinação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), e do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), cujos valores encontrados foram: 87,97; 95,93 e 94,64% respectivamente.

Para análise e correção da fertilidade da área experimental, foram realizadas amostragens de solo e aplicados 2,058 toneladas de calcário ha⁻¹. A adubação de cobertura nos cultivos de feijão-caupi e milho seguiram recomendação de Cavalcanti (2008), conforme os valores apresentados (Tabela 1), é importante ressaltar que a quantidade de adubo apresentado é referente ao cultivo de feijão-caupi I e ao cultivo de milho I, sendo que para ambos os cultivos de feijão-caupi e milho II foi utilizada mesma quantidade.

Tabela 1. Adubação de fundação e cobertura para os cultivos de feijão-caupi I e milho I

Fertilizantes	Fundação (kg ha ⁻¹)			Cobertura (kg ha ⁻¹)			Fundação (%)		Cobertura (%)
	Nit.	S.S.	KCl	Nit.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	
Feijão	90	133	44	100	24,3	24	26	27	
Milho	111	222	50	111	30	40	30	30	

Nit.: Nitromag; S.S.: superfosfato simples; KCl.: cloreto de potássio.

Para garantir a eficiência do manejo da irrigação com frequência diária, realizada pelo modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), foram instalados tensiômetros na profundidade de 20 cm, durante o período que as culturas estavam em campo. Os resultados conferiram uma tensão do solo oscilando em torno de 60 kPa, indicando consistência do já referido modelo no manejo da irrigação.

No feijoeiro as variáveis pesquisadas foram: número de vagens por planta – NV, Massa fresca de vagens - MFV (g planta⁻¹), massa seca de vagens - MSV (g planta⁻¹), massa de 100 grãos – M100G (g planta⁻¹), comprimento de vagens – CMV (cm), produtividade de grãos – PROD (Mg ha⁻¹), eficiência de uso da água - EUA (Mg ha⁻¹ mm⁻¹) e Índice de colheita – IC (%), número de plantas da parcela – NP, biomassa fresca de plantas por hectare – MFPha (Mg ha⁻¹), biomassa fresca da parte aérea por planta– MFPL (gramas), biomassa seca da parte aérea por planta– MSPL (gramas), no cultivo I e II de feijoeiro.

Foram utilizadas 22 plantas de cada parcela para medida das variáveis estudadas. A produtividade foi obtida através do peso de massa de grãos da parcela e estimada para um hectare. A MFV foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C, até atingir massa seca constante. A pesagem das variáveis foi realizada em balança analítica de precisão 0,01g.

Na milhicultura as variáveis pesquisadas foram: número de espigas por parcela - NE, diâmetro de espigas sem palhas - DSP (cm), diâmetro de espigas com palhas - DCP (cm), massa fresca de palhas de espigas - MFPE (Mg ha⁻¹), massa fresca de sabugos - MFSAB (Mg ha⁻¹), produtividade de grãos hidratados - PRODH (Mg ha⁻¹), produtividade de grãos desidratado - PRODD (Mg ha⁻¹), eficiência de uso da água - EUA (Mg ha⁻¹ mm⁻¹), índice de colheita - IC (%). Determinou-se a eficiência do uso da água (EUA), conforme CARVALHO et al. (2011) e o índice de colheita segundo ASSIS JUNIOR et al. (2007).

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando a interação ou as frações de lixiviação foram significativas foi aplicada análise de regressão conforme Alvarez & Alvarez (2003), utilizando o software SAS (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A salinidade do solo, representada pela condutividade elétrica do extrato de saturação, foi incrementada durante o primeiro cultivo do feijoeiro e do milho, embora a ocorrência de elevada pluviosidade tenha contribuído para mantê-la abaixo da máxima salinidade da água de irrigação; picos de salinidade inferior à salinidade mínima nas camadas de 20 e 40 cm são observados durante o experimento (Figura 2). O resultado da lixiviação dos sais do solo em decorrência de pluviosidade corrobora (MURTAZA et al., 2006; ASSIS JÚNIOR et al., 2007; BEZERRA et al., 2010).

A água de salinidade mais elevada manteve o solo com o nível salino superior aquele da água de menor salinidade durante a pesquisa, independente da profundidade da camada de solo, embora as diferentes frações de lixiviação (FL) utilizadas tenham desempenhado papel importante na percolação de parte desses sais abaixo da rizosfera.

Solos de textura arenosa possuem pequena superfície específica que resulta em baixa capacidade de adsorção de cátions se comparada com solos argilosos. A fácil drenabilidade do solo do presente estudo em conjunto com as FL mais elevadas foram suficientes para impedir o avanço de sais na zona radicular, além de promover melhor distribuição no perfil. A redução da CE nas camadas também pode ser atribuída à posição das amostragens de solo para

monitoramento a aproximadamente 15 cm de distância do gotejador, conforme observado (DIAS et al., 2004). As FL são alternativas viáveis no controle dos sais abaixo da rizosfera (AYERS e WESTCOT, 1999; CARVALHO et al., 2012).

Pluviosidades acima de 1000 mm foram decisivas na eliminação dos sais do solo entre a oitava e nona amostragens da fase experimental independente do nível salino da água. Com a redução da pluviosidade e a continuidade das irrigações, a salinidade se elevou à aproximadamente 1,50 dS m⁻¹. Baseado neste resultado infere-se que a utilização de águas salinas contendo sódio e cloreto deve ser planejado, bem como o conhecimento do solo e da qualidade da água que se utiliza para irrigar, por apresentar risco de salinização do ambiente de cultivo conforme ASSIS JÚNIOR et al. (2007).

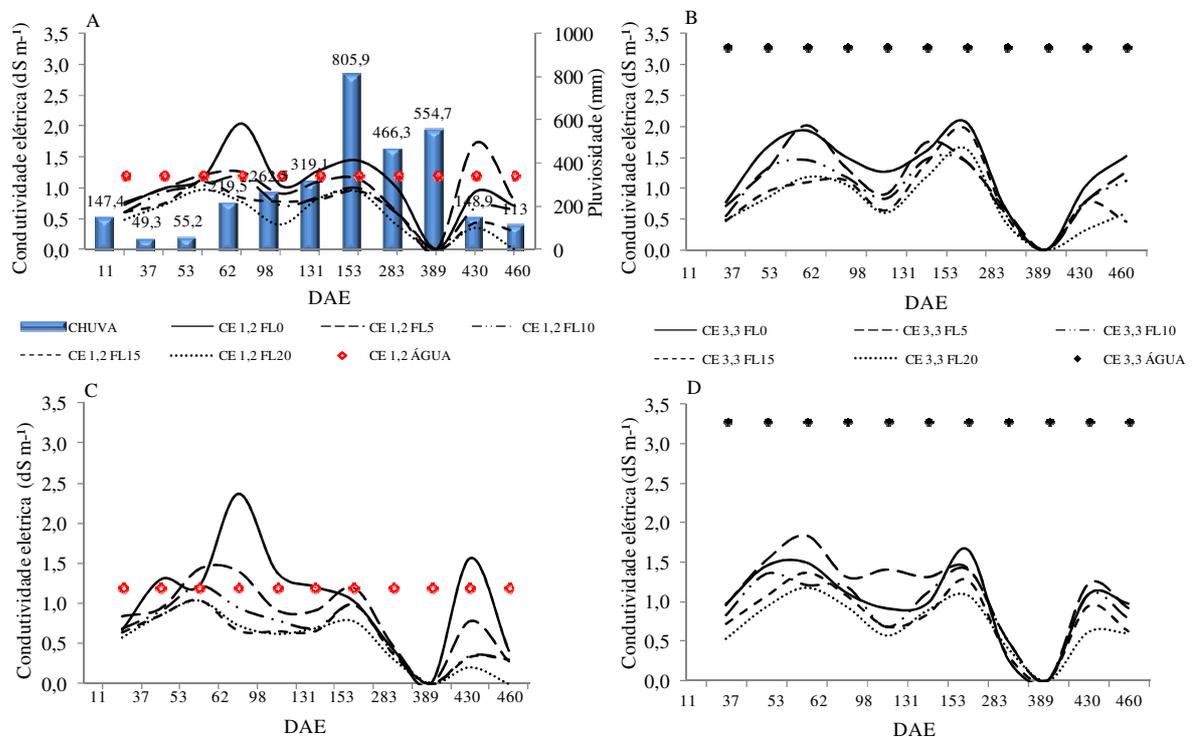


FIGURA 2. Monitoramento da condutividade elétrica nos dias ao longo do experimento (DAE), na profundidade de 20 cm (A e B); profundidade de 40 cm (C e D). CE 1,2 AGUA e CE 3,3 AGUA: condutividade elétrica da água de irrigação (dS m⁻¹); CE1,2FL0: condutividade elétrica do extrato saturado do solo no tratamento com fração de lixiviação 0%; CE1,2FL5: condutividade elétrica do extrato saturado do solo no tratamento com fração de lixiviação 5%; CE1,2FL10: condutividade elétrica do extrato saturado do solo no tratamento com fração de lixiviação 10%; CE1,2FL15: condutividade elétrica do extrato saturado do solo no tratamento com fração de lixiviação 15%; CE1,2FL20: condutividade elétrica do extrato saturado do solo no tratamento com fração de lixiviação 20%.

Na análise de variância apresentada na Tabela 2, pode ser verificado o efeito significativo ($p < 0,01$) para interação CE x FL sobre MFV, M100G e a ($p < 0,05$) para EUA no cultivo I e para MFPha e MFPL no cultivo II.

Foi observado o efeito significativo com ($p < 0,01$) do fator isolado FL sobre as variáveis NV, MSV, CMV, PROD e IC no cultivo I e MFV e MSPL ambas do cultivo II. As variáveis número de plantas (NP), número de vagens (NV), e comprimento de vagem (CMV) ambas do cultivo II não foram influenciadas pelo teste estatístico.

Os coeficientes de variação do presente estudo (Tabela 2) são considerados de baixo a médio pelo controle de fatores interferentes no experimento; embora SANTOS et al. (1998), afirmarem que não se pode generalizá-los, pois para investigação de cultivos realizados em casas de vegetação, laboratórios, dentre outros onde o ambiente não interfere, valores superiores a estes não os desqualifica.

Tabela 2. Quadrado médio das variáveis de produção do feijoeiro, cultivos I e II

F. V.	CE	FL	CE*FL	Resíduo	CV(%)
NV	6,54**	2,12 **	0,57 ^{ns}	0,43	9,89
MFV	47,29**	14,81**	10,36 **	1,96	6,15
MSV	6,49 *	7,14**	1,29 ns	0,94	6,56
M100G	21,03**	7,58**	2,13**	0,10	0,84
CMV	0,00 ^{ns}	4,84 **	0,76 ns	1,18	5,69
PROD	0,21**	0,33**	0,03 ns	0,022	7,74
EUA	6,40 ^{E-06**}	3,97 ^{E-06**}	2,9 ^{E-06} *	8,0 ^{E-07}	8,48
IC	47,52 ^{ns}	101,41**	23,54 ^{ns}	19,00	12,55
CULTIVO II					
NP	0,100 ^{ns}	0,838 ^{ns}	0,538 ^{ns}	1,650	4,38
NV	0,3028 ^{ns}	0,3715 ^{ns}	0,0945 ^{ns}	0,4580	9,78
MFV	30,63 **	12,88**	8,15 ns	3,20	7,29
MSV	8,65*	2,19 ^{ns}	2,04 ^{ns}	1,489	11,95
MFPha	20,74 *	72,29 **	14,88 **	3,35	9,89
MFPL	1221,03 ^{ns}	9215,97**	6274,52**	1220,01	11,59
MSPL	0,009 ^{ns}	189,33**	55,94 ^{ns}	28,59	10,66
CMV	1,64 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,90	4,85

^{ns}: Não significativo, **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade; F. V.: fonte de variação; CE: condutividade elétrica dS m⁻¹; FL: fração de lixiviação; CE*FL: interação entre os fatores; CV: coeficiente de variação; NV: número de vagens por planta; MFV: Massa fresca de vagens; MSV: massa seca de vagens; M100G: massa de 100 grãos; CMV: comprimento de vagens; PROD: produtividade de grãos por hectare; EUA: eficiência de uso da água; IC: Índice de colheita; NP: número de plantas da parcela; MFPha: biomassa fresca de plantas por hectare; MFPL: biomassa fresca da parte aérea por planta; MSPL: biomassa seca da parte aérea por planta; nos cultivos I e II de feijoeiro.

Na Figura 3 são apresentadas as variáveis MFV, M100G e EUA as quais se ajustaram a modelos quadráticos em função das FL e dos níveis de CE estudados. Os modelos testados para MFV e EUA não se ajustaram para CE 3,3 dS m⁻¹.

A máxima MFV estimada foi 25,09 g por planta correspondendo a uma FL 6% se utilizando água de CE 1,2 dS m⁻¹, podendo-se inferir que a aplicação dessa água sem a técnica da lixiviação afeta essa variável. Redução da massa de vagens de caupi foi observada por Assis Júnior et. al. (2007) quando irrigaram as plantas com águas de salinidade de 0,8 dS m⁻¹ e 5,0 dS m⁻¹ sem fração de lixiviação e com fração de lixiviação de 14% e 28%. Entretanto, Santana et al. (2009), cultivando feijoeiro em Latossolo vermelho distrófico de textura franco arenosa, observaram redução linear da massa de vagens. A máxima massa de vagens foi 8,5 g

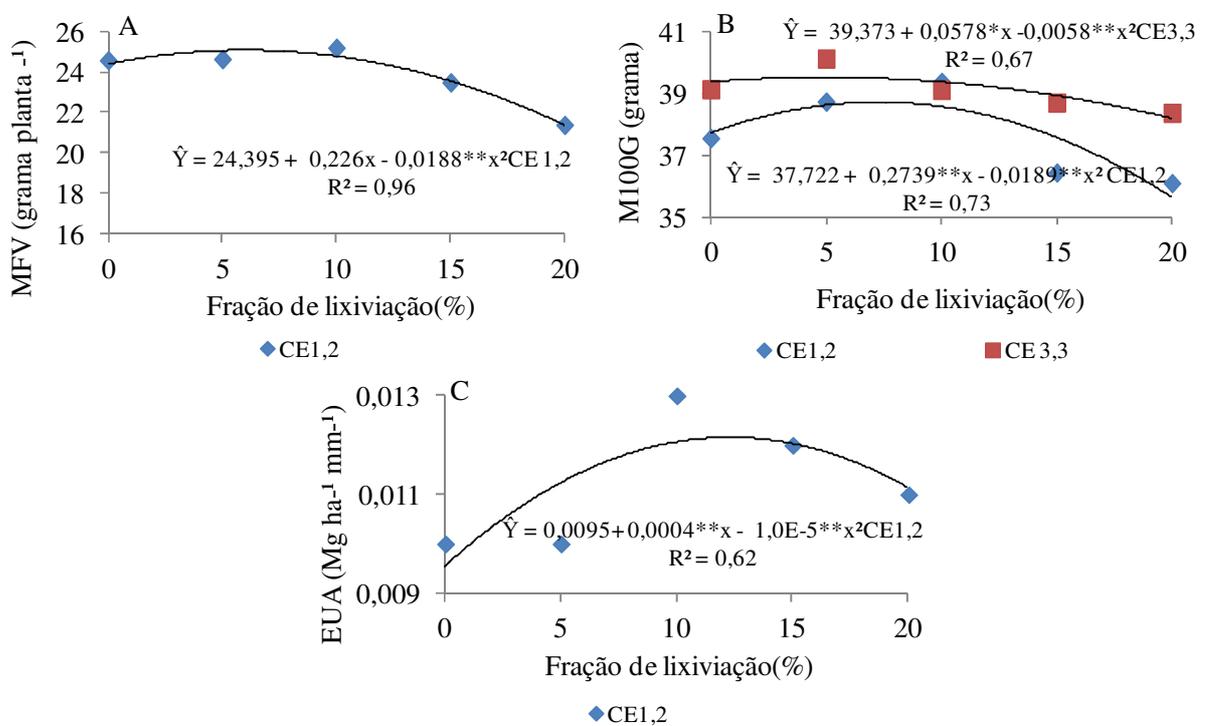


FIGURA 3. Massa fresca de vagens - MFV (A), massa de 100 grãos - M100G (B), e eficiência de uso da água - EUA (C) do feijoeiro irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo I.

quando irrigaram com água de 0,1 dS m⁻¹ para 1,8 g irrigando com água de 4 dS m⁻¹. A pesquisa foi realizada com cultivar pérola, a água de salinidades variou em 0,1 dS m⁻¹, 1,0 dS m⁻¹; 2,5 dS m⁻¹; 4,0 dS m⁻¹ e 5,5 dS m⁻¹, neste estudo não foi utilizada lâminas de lixiviação. Do mesmo modo, Bezerra et al. (2010) observaram redução significativa de massa seca de vagens com o aumento progressivo da salinidade da água de irrigação em estudo realizado com a variedade EPACE 10 cultivado em Latossolo vermelho Amarelo. Estudos evidenciam

que a tolerância ao estresse salino pode ser mais danosa a uma variedade, enquanto outras podem apresentar maior tolerância (DANTAS et al., 2002). Os efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais do estresse salino, afetam a assimilação líquida de CO_2 , inibem a expansão foliar e acelera a senescência de folhas maduras, reduzindo, conseqüentemente, a área destinada ao processo fotossintético e a produção de fotoassimilados conforme Lacerda et al. (2003).

A M100G foi superior sob condições de cultivo de CE $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ e apresentou menor redução quando sua massa foi submetida as mesmas FL da CE de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. A máxima M100G estimada pelo modelo quadrático foi 38,71 g, correspondendo à aplicação de uma FL de 7,20% quando se irrigou com água de CE $1,2 \text{ dS m}^{-1}$; com relação a CE $3,3$ a máxima M100G foi estimada em 39,53 g se aplicando FL de 5,26%. Isto é devido à existência de algum mecanismo seletivo na entrada de íons para a semente dessa variedade. Em estudos realizados com a cultivar EPACE 10 (ASSIS JÚNIOR et. al., 2007), obtiveram máxima massa de grãos quando irrigaram com água de 5 dS m^{-1} aplicando lixiviação de 28%. Willadino et al. (1999) estudando genótipos de milho e avaliando a tolerância ao estresse salino de 2,0; 7,78 e $12,38 \text{ dS m}^{-1}$ de NaCl, por um período de 39 dias em cultivo hidropônico, perceberam que algumas variáveis podem ser mais sensíveis ao estresse salino, embora essa tolerância esteja condicionada à variedade dentro da espécie. Considerando o estudo realizado por Maas (1984), o caupi é uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, que suporta condutividade elétrica de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ da água de irrigação sem perda de produtividade.

A máxima EUA foi estimada em $0,012 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com a FL14%, sob condições de água de irrigação com salinidade de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. A máxima EUA obtida por Santana et al. (2009) foi de 5 kg mm^{-1} por parcela com a cultivar Pérola, irrigando com água salina de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$, com o aumento da CE da água de irrigação a EUA reduziu linearmente. A cultura do feijão-caupi tem a absorção de água alterada quando o potencial osmótico do solo é reduzido, assim as alterações metabólicas causadas pelo estresse salino e a absorção de nutrientes poderão ser intensificadas (DANTAS et al., 2002; LACERDA et al., 2003). O decréscimo da eficiência no uso da água tem como consequência, redução da produtividade, além de seus efeitos se propagarem sobre as demais variáveis conforme observação de Katerji et al. (2001; 2004) cultivando fava, soja, milho, beterraba, girassol; e Garcia et al. (2009) cultivando feijoeiro. O teor relativo de água nas folhas de plantas de caupi sob salinidade permanece quase inalterado, indicando um eficiente mecanismo protetor de adaptação à situação adversa, que permite, mesmo em baixas proporções, a extração de água do solo (COSTA, 1999; OLIVEIRA et al., 2005; NISHIDA et al., 2009).

Analisando a Figura 4, percebe-se comportamento semelhante em relação à variável PROD, CMV e IC para o ajustamento das equações quadráticas.

A PROD máxima estimada foi 2,14 Mg ha⁻¹ correspondendo a uma FL de 10,4% independente da CE utilizada (Figura 4A). A máxima produtividade de grãos obtida (BEZERRA et al., 2010) foi de 2 Mg ha⁻¹ irrigando com água de CE medindo 0,8 dS m⁻¹. O resultado do presente estudo sinaliza tolerância da variedade à água salina. Maas (1984) considerou a CEes 4,9 dS m⁻¹ como sendo a salinidade limiar para esta cultura e Ayers e Westcot (1999) sugerem como limite a CE de 3,3 dS m⁻¹ para a água de irrigação, considerando uma FL de 15%.

Com base nos resultados da presente pesquisa sobre a PROD, infere-se que as FL reduziram os sais do solo evitando que as plantas entrassem em estresse osmótico pela toxidez e sofressem desbalanço nutricional, abertura estomática modificada, afetando diretamente a assimilação líquida de CO₂, reduzindo consequentemente, a área destinada à fotossíntese e a produção total de fotoassimilados, conforme Lacerda et al. (2003).

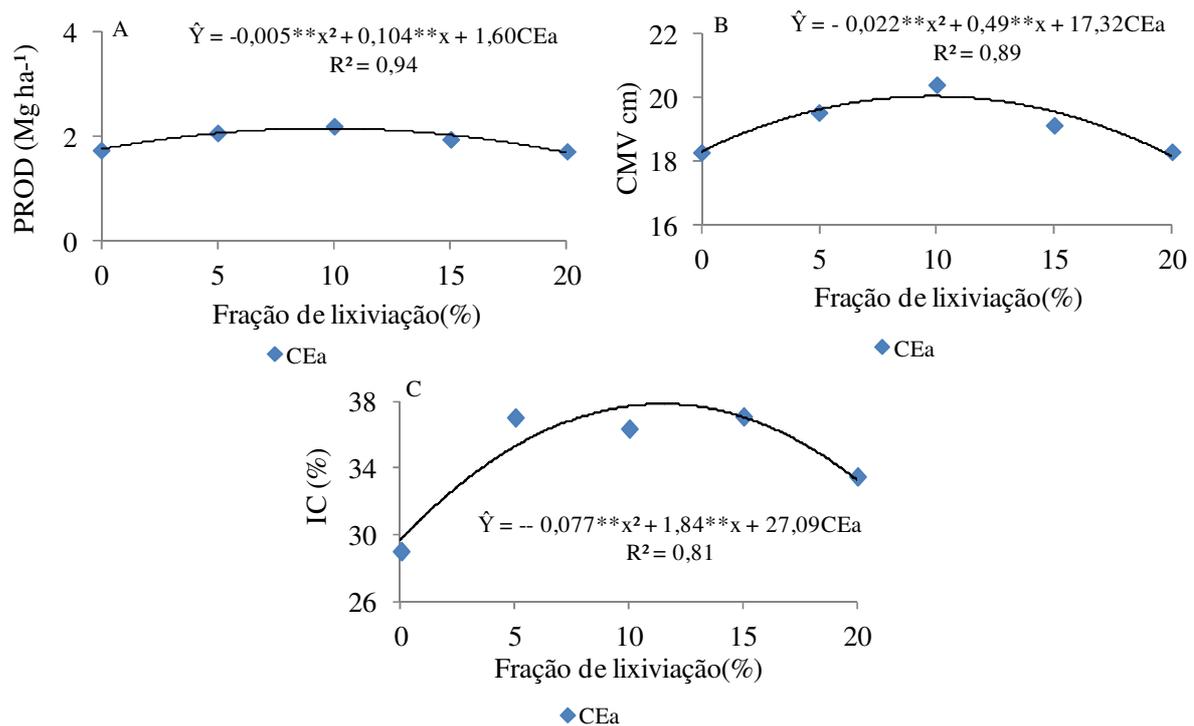


FIGURA 4. Produtividade de grãos - PROD (A), comprimento de vagens – CMV (B) e índice de colheita – IC (C) do feijoeiro irrigado com água salina e frações de lixiviação no cultivo I.

A redução do crescimento é consequência dos efeitos da diminuição do potencial osmótico, ocasionando redução na disponibilidade de água e de efeitos específicos de íons

que podem acarretar toxidez ou desequilíbrio nutricional das plantas, afetando diretamente a produtividade do feijoeiro, conforme Neves et al. (2009). A PROD é resultado do número de vagens por unidade de área, do número de grãos por vagem e da massa de grãos colhidos (CARDOSO et al., 2005).

No presente estudo, se constatou que o Máximo CMV estimado pelo modelo quadrático, foi 20,05 cm para a FL de 11,14%, com este resultado pode-se inferir que níveis salinos elevados na rizosfera desta cultura afetam o CMV. Esse resultado concorda com aquele obtido por Assis Júnior et al. (2007) e Bezerra et al. (2010). Embora a literatura faça referência aos efeitos da salinidade na nutrição mineral das plantas, são observadas respostas bastante variáveis e complexas (LACERDA, 2005). As respostas podem variar em função do tipo de planta, do nível salino e da concentração de nutrientes no solo e na planta. Além disso, o estágio de desenvolvimento da planta e a duração do estresse podem alterar a quantidade de minerais extraídos do solo. É importante observar que o menor crescimento é resultante da menor extração de nutrientes pelas plantas, favorecendo a lixiviação dos mesmos e a contaminação do lençol freático, conforme observado por Neves et al. (2009).

O IC é dependente da relação entre a matéria seca de sementes e a matéria seca total produzida em cultivo (ASSIS JÚNIOR et al., 2007), podendo ser afetado pelos efeitos resultantes da alteração no potencial osmótico da planta. Na presente pesquisa as FL aplicadas para lixiviação dos sais da zona radicular afetou o IC do feijoeiro, e a ótima FL de 11,95% foi a que proporcionou um IC máximo estimado em 38,08 para as condições de estudo. O máximo IC encontrado por Bezerra et al. (2010) foi 34,7 irrigando com água de 0,8 dS m⁻¹. Quando o incremento da salinidade ocasiona leve efeito sobre as plantas, este não é transferido para a produtividade, conseqüentemente o IC é elevado, conforme (Assis Júnior et al., 2007; Neves et al., 2009).

Na Figura 5, são apresentadas as variáveis MFPha e MFPL, é importante ressaltar que durante o cultivo II de caupi não foram aplicados tratamentos, devido a ocorrência de elevados índices pluviométricos. Mesmo assim, os modelos quadráticos se ajustaram ao valor de MFPha e MFPL em função das FL, provavelmente devido ao efeito de resíduos dos tratamentos aplicados nos cultivos anteriores.

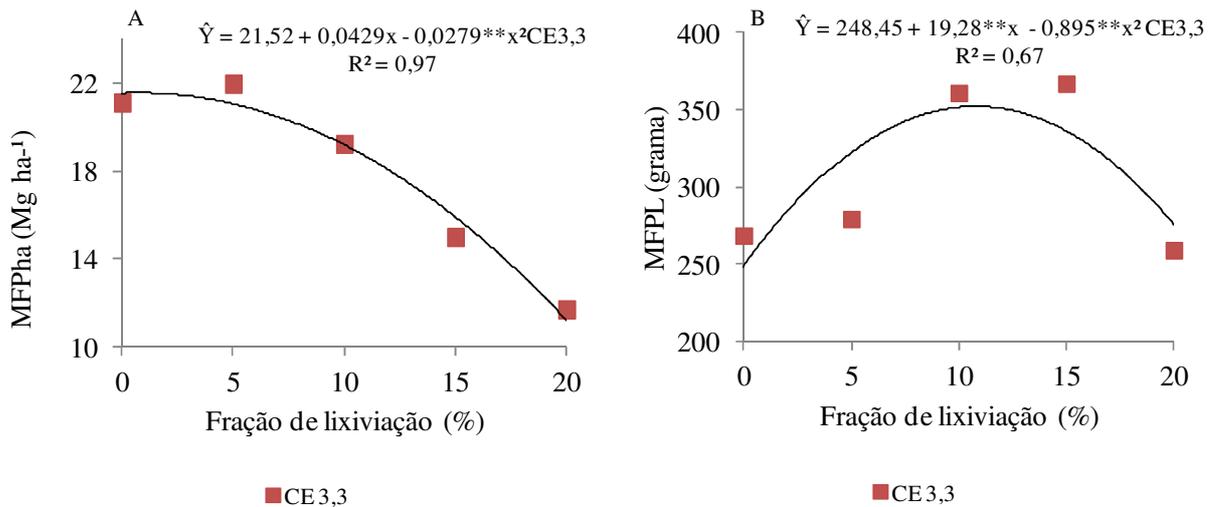


FIGURA 5. Biomassa fresca de plantas por hectare – MFPha (A), biomassa fresca da parte aérea por planta – MFPL (B) do feijoeiro irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo II

É importante ressaltar que mesmo com a interação significativa, os modelos de regressão não foram significativos por isso não estão apresentadas no gráfico (Figura 5).

A máxima MFPha estimada foi de 21,54 Mg ha⁻¹ para a ótima FL de 0,8%. Incrementos da FL reduziu a MFPha (Figura 5A). Em relação à MFPL, observa-se que a máxima estimada foi de 352 g para a FL ótima de 10,8%. Observa-se acentuada redução das variáveis é devido às elevadas precipitações pluviométricas ocorridas durante este cultivo, ocorrendo lixiviação drástica dos sais (Figura 2A, B, C e D) e da adubação realizada.

A variação ocorrida a MFPha e a MFPL entre as FL foi, provavelmente, devido se ter estimado a partir da biomassa fresca da parcela e não pela MFPL, assim, o manejo da irrigação pode ter afetado as plantas da parcela, visto que ao se irrigar utilizando sistema por gotejamento o molhamento do solo forma bulbos ou fachas dependendo do espaçamento entre plantas, conforme o Dias et al. (2004).

Na Figura 6 são apresentadas a MFV e a MSPL as quais se ajustaram a modelos quadráticos para a CE. A máxima MFV estimada pelo modelo quadrático foi de 25,58g correspondendo a uma FL de 12,10%, e a MSPL máxima foi estimada em 54,52 g correspondendo a uma FL de 11,12%. Bezerra et al. (2010), encontraram máxima massa seca de parte aérea de plantas de 70 g, irrigando com água salina de 0,8 dS m⁻¹ a variedade EPACE 10. Na proporção que a salinidade da água aumentou houve redução linear da massa seca da parte aérea de plantas, chegando a 45 g quando a água alcançou salinidade de 5 dS m⁻¹. Esse resultado demonstra que a salinização do solo provoca estresse osmótico e toxidez nas plantas

ocasionando desbalanço nutricional, modifica a abertura estomática, afetando diretamente a assimilação líquida de CO_2 , tendo como consequência, redução da área destinada à fotossíntese e a produção total de fotoassimilados (LACERDA et al., 2003).

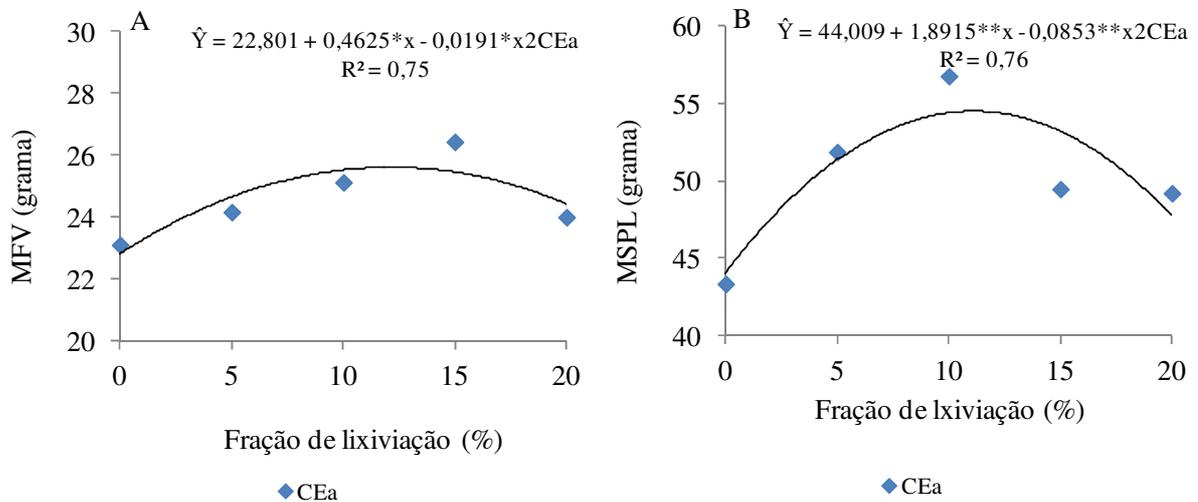


FIGURA 6. Massa fresca de vagens – MFV (A), massa seca da parte aérea por planta– MSPL (B) do feijoeiro irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo II

A ocorrência de 479,80 mm de chuva durante o período de pousio que antecedeu este cultivo, como também 1182,90 mm de chuva, distribuídos espacialmente sob este mesmo cultivo impedindo a aplicação dos tratamentos. A MFV em questão, mesmo em condições de cultivo de regime diferenciado daquele apresentado (Figura 3A), ambas se assemelham em termos de massa e de ajustes pelo modelo quadrático. Em relação à MSPL, se observa ajuste no modelo quadrático semelhante aquele apresentado para MFPL (Figura 5B) como já era esperado.

As equações de regressão apresentadas nos gráficos das Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 foram calculadas utilizando valores experimentais de cada observação, desse modo, os coeficientes tendem a ser bem menores, se comparando com os valores estimados a partir de valores médios; os valores dos coeficientes de determinação tem como função, a capacidade preditiva da resposta que se pode esperar pela ação de determinada dose da variável independente estudada, conforme (ALVAREZ e ALVAREZ 2003).

Na análise de variância apresentada (Tabela 2), verifica-se efeito significativo da interação com significância de 1 a 5% de probabilidade para as CE x FL sobre produtividade de polpa hidratada (PRODH) e índice de colheita (IC) do cultivo I e massa fresca de sabugos (MFSAB) e eficiência do uso da água (EUA) cultivo II.

A massa fresca de palhas de espigas (MFPE), produtividade de polpa desidratada (PRODD), e EUA do cultivo I e MFPE, PRODH, PRODD e IC do cultivo II foram

influenciadas pelo fator isolado FL em níveis de significância de 1 a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação também variaram de baixo a médio, conforme Santos et al. (1998) e Gomes et al. (1985) já referenciados no presente estudo.

Tabela 2. Quadrado médio das variáveis de produção de milho, cultivos I e II.

F. V.	CE	FL	CE*FL	Resíduo	CV(%)
NE	0,900 *	0,413 ^{ns}	0,213 ^{ns}	0,167	6,00
DSP	0,1210 ^{ns}	0,0359 ^{ns}	0,0404 ^{ns}	0,0450	4,62
DCP	0,0203 ^{ns}	0,0673 ^{ns}	0,0328 ^{ns}	0,085	5,33
MFPE	0,27 ^{ns}	5,43**	0,404 ^{ns}	0,59	11,29
MFSAB	1,0 ^{E-04} ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,02	10,51
PRODH	1,93 ^{ns}	6,54 **	3,48*	2,31	9,94
PRODD	1,0 ^{E-04} ^{ns}	0,15 **	0,02 ^{ns}	0,17	11,31
EUA	1,0 ^{E-09} ^{ns}	9,63 ^{E-05} **	1,88 ^{E-05} ^{ns}	8,33 ^{E-06}	10,02
IC	1087,64 **	2216,03 **	507,12**	76,54	10,67
CULTIVO II					
NE	0,625 ^{ns}	0,163 ^{ns}	0,313 ^{ns}	0,542	11,64
DSP	0,0005 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,028	3,78
DCP	0,040 ^{ns}	0,080 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,098	6,26
MFPE	7,56 **	3,01 **	0,99 ^{ns}	0,39	9,32
MFSAB	0,012 ^{ns}	0,28 **	0,13 **	0,033	9,04
PRODH	2,22 ^{ns}	16,84 **	5,38 ^{ns}	0,93	8,42
PRODD	0,099 *	0,99 **	0,42 ^{ns}	0,023	6,94
EUA	1,44 ^{E-05} ^{ns}	2,74 ^{E-04} **	5,83 ^{E-05} *	2,04 ^{E-05}	10,13
IC	1131,67 **	540,34 **	116,61 ^{ns}	98,75	9,59

^{ns}: Não significativo, **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade; F. V.: fonte de variação; G.L.: graus de liberdade; CE: condutividade elétrica dS m⁻¹; FL: fração de lixiviação; CE*FL: interação entre os fatores; CV: coeficiente de variação; NE: número de espigas por parcela; DSP: diâmetro de espigas sem palhas; DCP: diâmetro de espigas com palhas; MFPE: massa fresca de palhas de espigas; MFSAB: massa fresca de sabugos; PRODH: produtividade de grãos hidratados; PRODD: produtividade de grãos desidratado; EUA: eficiência de uso da água; e IC: Índice de colheita.

Na Figura 7 são apresentadas a produtividade de polpa hidratada (PRODH) e índice de colheita (IC) as quais se ajustaram aos modelos quadráticos das equações de regressão em função das FL e da CE estudadas. Embora tenha ocorrido interação da CE x FL para PRODH (Figura 7A) os termos da equação não foram significativos para a CE 1,2 dS m⁻¹. A máxima PRODH estimada foi de 12,9 Mg ha⁻¹ correspondendo a uma FL5,6%, se irrigando com água de CE 3,3 dS m⁻¹, isto porque em solo de textura arenosa, quando se incrementa a fração de lixiviação, grande quantidade de nutrientes são lixiviados refletindo negativamente na

produtividade. Resultado semelhante à redução da produtividade foi observado por Parizi et al. (2009) a produtividade decresceu se ajustando ao modelo linear.

Estudo realizado por Parizi et al. (2009) utilizando cinco estratégias de irrigação de (0%, 60%, 80%, 100 e 120%) da evapotranspiração de referência, encontraram os respectivos valores de massa seca de grãos desidratados de 0,28; 0,30; 0,31; 0,31 e 0,30 g por planta em Santiago Rio Grande do Sul, estudando a cultura do milho em Latossolo Vermelho distrófico.

O máximo IC estimado foi de 131,14% correspondendo a uma FL de 12% irrigando com água de CE 3,3 dS m⁻¹; enquanto que para a CE 1,2 dS m⁻¹ o máximo IC estimado foi de 106% correspondendo a uma FL16% , estes incrementos do IC são bastante elevados em relação ao IC de 40% encontrado por Bezerra et al. (2010) cultivando milho Híbrido AG 1051. Os elevados valores de IC do presente estudo estão diretamente relacionados com o incremento da maior produtividade, indicando que as condições de cultivo influenciaram a partição de fotoassimilados na cultura do milho. Tais resultados mostram, ainda, a viabilidade do sistema de rotação de culturas nas condições edafoclimáticas da região, indicada pelas boas produtividades obtidas nos cultivos do feijão-caupi e do milho e pela pequena influência da salinidade sobre o solo e sobre os cultivos, especialmente com a ocorrência de elevados índices pluviométricos. Bezerra et al. (2010) recomendam que estudos a longo prazo são necessários, não só para se estudar os efeitos benéficos do sistema de rotação cultural, mas também os efeitos acumulativos dos sais sobre as propriedades do solo e sobre a produtividade vegetal

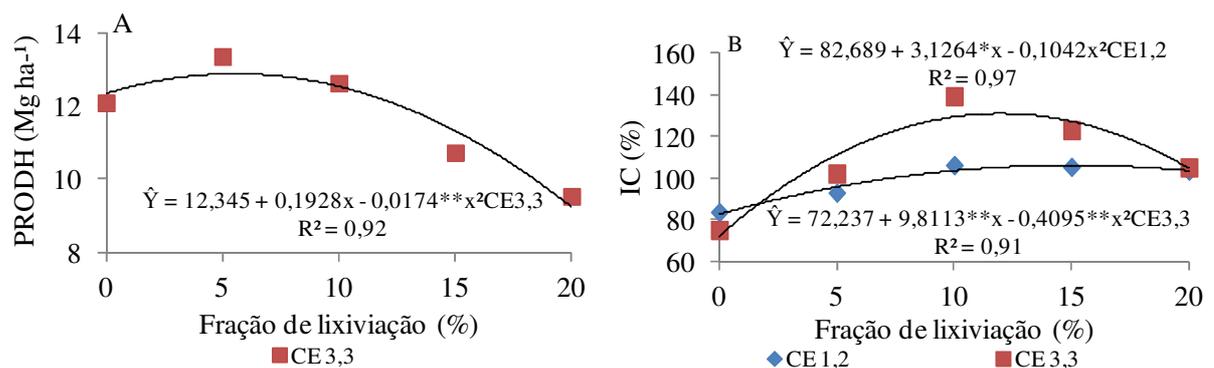


FIGURA 7. Produtividade de polpa hidratada – PRODH (A) e Índice de colheita – IC (B) de milho irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo I

Na Figura 8 são apresentadas MFPE, PRODD e eficiência do uso da água EUA as quais se ajustaram aos modelos quadráticos das equações de regressão em função das FL independente das CE estudadas.

A máxima MFPE foi estimada em 7,4 Mg ha⁻¹ correspondendo a FL de 12%, independente do nível salino da água. Já a máxima PRODD foi estimada em 2,3 Mg ha⁻¹

correspondendo a FL de 7,8% no presente estudo. Aguiar et al. (2009), cultivando dentre outras variedades, o milho híbrido AG 1051, obtiveram uma produtividade média de 4,2 Mg ha⁻¹ em uma densidade de plantio de 133300 cultivado em solo de baixa fertilidade. Nas condições do presente estudo a PRODD média foi de 3,6 Mg ha⁻¹ com densidade de plantio de 52500, se observando a PRODD, IC e EUA, e ainda se considerando os fatores citados (BEZERRA et al., 2010) é possível que os efeitos cumulativos dos sais e os efeitos climáticos tenha interferido nessas variáveis.

A máxima EUA estimada foi de 0,03 Mg ha⁻¹ mm⁻¹ correspondendo a FL3,9% independente da CE, isto demonstra que o incremento das lâminas de água lixiviou os sais deste solo devido sua superfície específica reduzida. O aumento do percentual de argila no

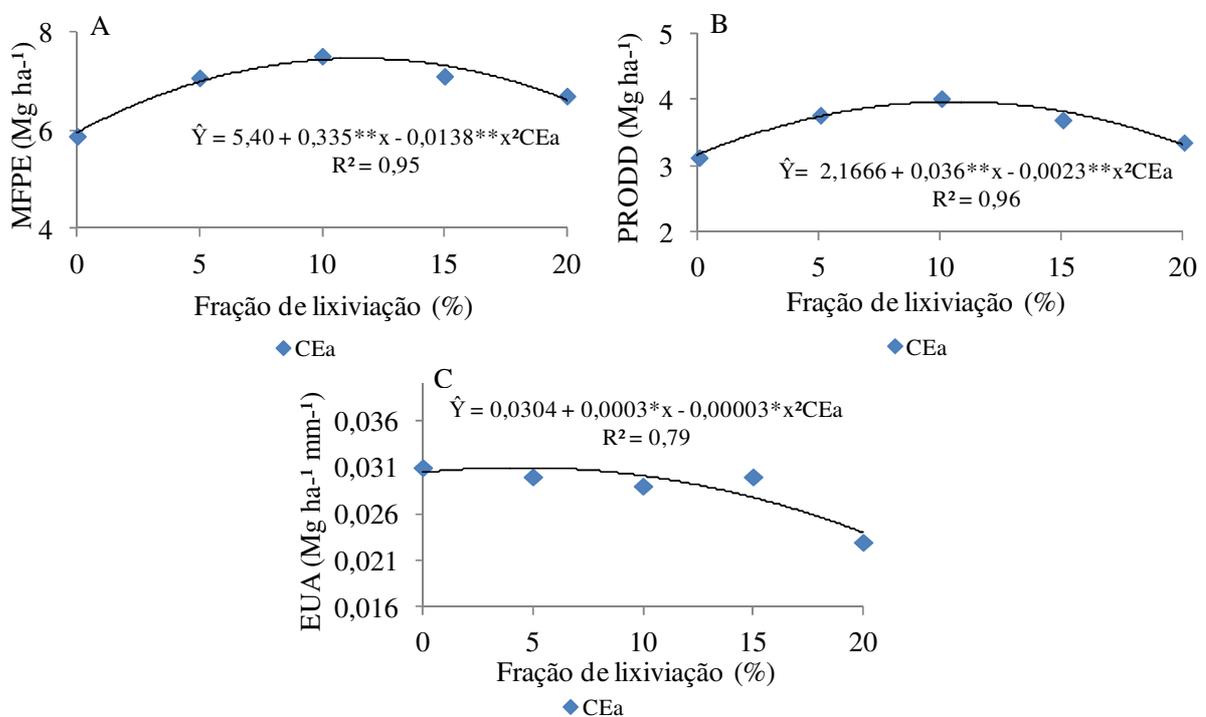


FIGURA 8. Massa fresca de palhas de espigas (A), Produtividade de polpa desidratada – PRODD (B) e eficiência do uso da água – EUA (C) de milho irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo I

solo dificulta a lixiviação de sais conforme observaram (ASSIS JÚNIOR et al., 2007), em estudo realizado em Argissolo Vermelho-Amarelo, sendo preciso aplicar uma FL de 28% para lixiviar os sais do perfil, para reduzir o acúmulo de sais e os efeitos deletérios sobre a floração e frutificação do cultivo.

A máxima MFSAB estimada pelo modelo foi 1,7 Mg ha⁻¹, correspondendo a uma FL de 10% quando se irrigou com água salina de 1,2 dS m⁻¹, quando se irrigou com água salina de

3,3 dS m⁻¹, a máxima MFSAB estimada foi de 1,65 Mg ha⁻¹ correspondendo a uma FL de 12% (Figura 9A). Este resultado demonstra que o acúmulo de sais do solo pode ser reduzido com incremento da lixiviação, conforme observado (FERREIRA et al., 2006; ASSIS JÚNIOR et al., 2007).

A máxima EUA estimada pelo modelo quadrático foi 0,05 Mg ha⁻¹ mm⁻¹ correspondendo a FL11% quando se irrigou com água de 1,2 dS m⁻¹ e 0,053 Mg ha⁻¹ mm⁻¹ correspondendo a FL8,5% quando se irrigou com água de 3,3 dS m⁻¹. É observado incremento da EUA com o aumento da salinidade, demonstrando que o excesso de irrigação provoca lixiviação excessiva (FERREIRA et al., 2006).

Baseado nas respostas da EUA (Figura 9B) considerada como a mais facilmente afetada pelos efeitos adversos de clima e estresse salino e que sua resposta a esses efeitos afeta as demais variáveis, conforme já comentado no texto. O IC (Figura 7B), embora menos sensível, responde quando submetido a condições adversas. Baseado nas referidas variáveis, e sob as condições do presente estudo é possível afirmar que as plantas foram pouco influenciadas pela salinidade existente no solo, como pelos fatores climáticos, já mencionados, e que a MFSAB (Figura 9A), PRODH (Figuras 7A, 8B, 10B) e PRODD (Figuras 8B, 10C) e MFPE (Figuras 8A, e 10B) foram pouco afetadas. Esse resultado é observado por Bezerra et al. (2010), os quais obtiveram IC de 39,5 a 41,2% e consideraram desempenho satisfatórios para as variáveis estudadas em condições de cultivo e irrigação aplicando água de qualidade inferior.

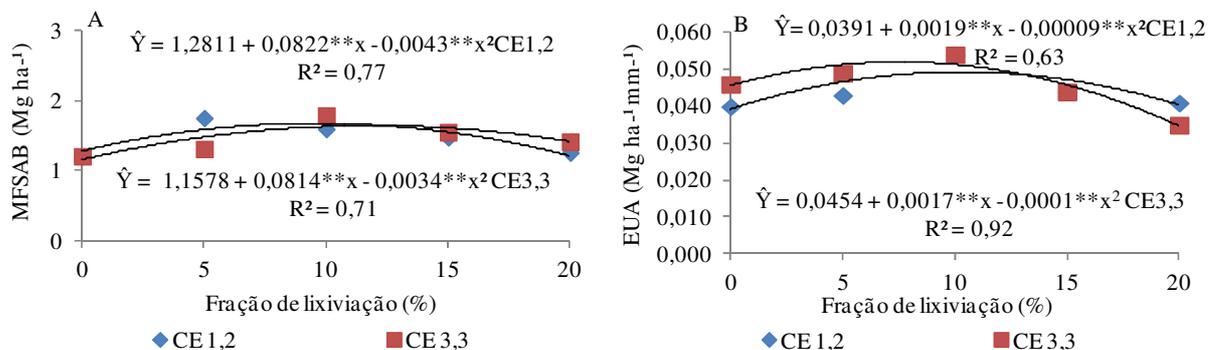


FIGURA 9. Massa fresca de sabugos – MFSAB (A) e eficiência do uso da água – EUA (B) do milho irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo II

Resultados encontrados para os IC do presente estudo variaram de 60,51% a 97,28% no cultivo I e de 75,05% a 139,28% no cultivo II indicando uma relação direta com o aumento da produtividade. Merece ser destacado que no cultivo I de milho incremento da MFSAB e a redução de PRODH reduziu o IC, enquanto no cultivo II ocorreu o inverso nestas variáveis. Isto foi provavelmente porque as plantas foram cultivadas no solo salinizado pelo cultivo I de

feijoeiro. Em cultivo de feijoeiro (ASSIS JÚNIOR et al., 2007), verificaram que o efeito da salinidade foi mais elevado no crescimento vegetativo de órgãos como hastes e folhas se comparado com os efeitos nos órgãos reprodutivos como vagens e sementes. Com a alteração na partição de fotoassimilados foi verificado aumento de aproximadamente 10% no IC, aumentando de 43% em plantas irrigadas com água de poço para 47,2% nas plantas irrigadas com água salina.

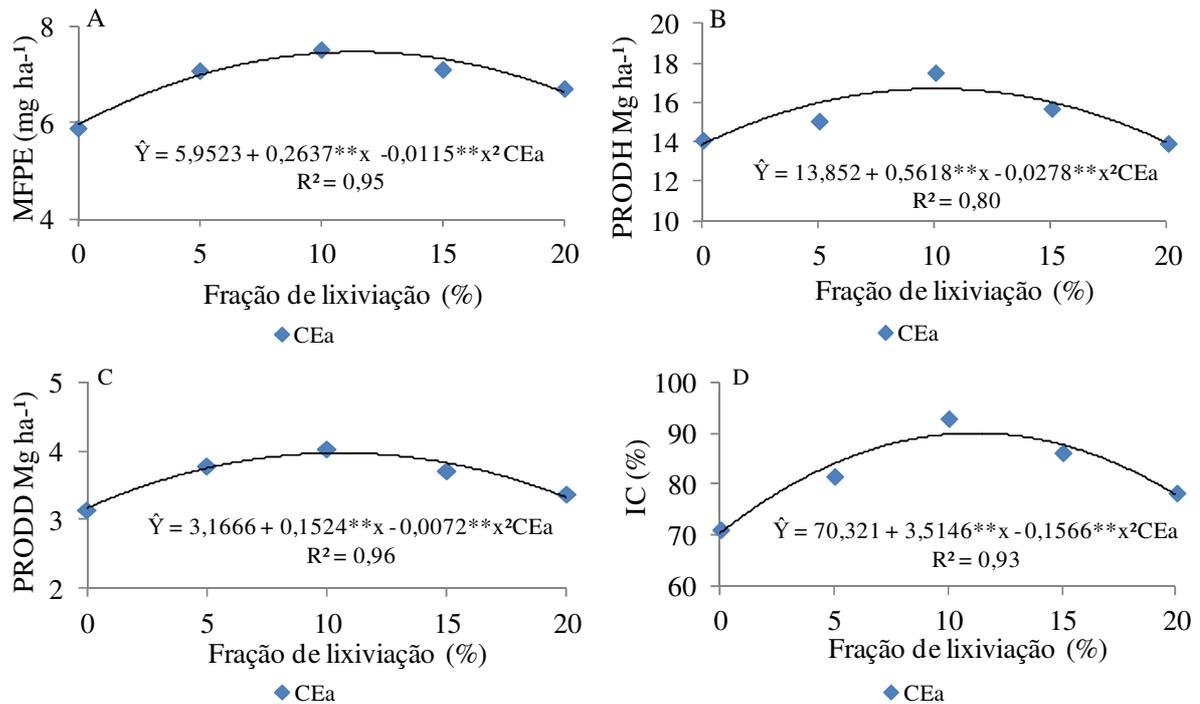


FIGURA 10. Massa fresca de palhas de espigas – MFPE (A), produtividade de polpa hidratada – PRODH (B) produtividade de polpa desidratada – PRODD (C) e índice de colheita – IC (D) do milho irrigado com água salina e frações de lixiviação do cultivo II

A máxima MFPE foi estimada em 7,4 Mg ha⁻¹ correspondendo a ótima FL11,3%, a PRODH máxima estimada pelo modelo quadrático foi 16,7 Mg ha⁻¹ correspondendo a ótima FL10%, a PRODD máxima estimada foi de 3,9 Mg ha⁻¹ para a ótima FL10,2% e o IC máximo estimado pelo modelo quadrático foi 90% correspondendo a ótima FL11,2% independente da água de irrigação utilizada (Figura 10A, B, C e D), é observado que para a grande maioria das variáveis estudadas, a ótima FL foi próxima de 10%, vale ressaltar que esse resultado pode variar em função das condições de solo, qualidade da água de irrigação, clima, local de estudo e da tolerância das variedades pesquisadas, uma vez que a alteração de um desses fatores interferirá diretamente na produtividade dos cultivos conforme observado (DANTAS et al., 2002; ASSIS JÚNIOR et al., 2007; NEVES et al., 2009; BEZERRA et al., 2010).

CONCLUSÕES

A salinização do solo ocasionada pela irrigação com água salina alterou o potencial osmótico do solo afetando os cultivos de feijão-caupi e milho verde quando não se aplicou lixiviação excedente nas condições do presente estudo.

A adição de lâminas de água excedentes contribui para elevar a produtividade dos cultivos, embora, deva ser considerado o tipo de solo, sua profundidade, seus aspectos de drenagem, a tolerância dos cultivos sua salinidade e a estação do ano.

A fração de lixiviação de 10% foi a que proporcionou melhor equilíbrio entre desempenho produtivo dos sistemas de cultivo adotados e a lixiviação dos sais do solo; a elevada pluviosidade ocorrida durante parte da fase experimental desempenhou importante papel na lixiviação dos sais do solo, favorecendo o cultivo de espécies sensíveis à salinidade.

As variáveis de feijão-caupi e milho verde apresentaram rendimento elevado quando se aplicou lixiviação entre 7% e 12%; foi observada pouca influência dos níveis de água salina sobre as variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. A.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; TROVO, B. F. Manejo do solo utilizando plantas de cobertura, híbridos e nitrogênio na produtividade do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 15-22, 2009.

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V. DE; DANTAS NETO, J.; SILVA JÚNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.671-679, 2009.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración Del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivo**. Roma, 2006 (Estudio FAO Riego y drenaje 56).

ALVAREZ V., V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Apresentação de equações de regressão e suas interpretações. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.28-32, 2003.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande. FAO: - Estudos de Irrigação e Drenagem, 1999. p.153. (Paper, 29).

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão-caupi/milho utilizando-se água de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p.1075-1082, 2010.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; LIMA, M. G. Ecofisiologia e manejo de plantio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: EMBRAPA, 2005. p. 211-28

CARVALHO, J. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; MONTENEGRO, M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n. 3, p.256-263, 2011.

CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M. H. V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n. 4, p.368-374, 2012.

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 3.ed. Recife: Instituto agrônômico de Pernambuco – IPA, 2008. 212p. il.

COSTA, R. C. L. **Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas noduladas de feijão-de-corda, submetidas ao estresse hídrico**. 1999. 225f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. S. N.; ANDRADE, S. I. O.; SALES, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; SILVA, F. V.; BARROS, A. D. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.240-246, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.570–578, 2006.

GARCIA, G. O.; FILHO, S. M.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. estresse hídrico e salino na produção relativa e potencial de água na folha do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p.470-480, 2009.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. de. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.355-361, 2000.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 11. ed. Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.

KHAN, M. A.; ABDULLAH, Z. Salinity – sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oryza sativa* L.) under dense soil conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v.49, p.145-157, 2003.

KATERJI, N.; VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops to tree classification methods and examination of some hypothesis about salt tolerance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.47, p.1-8, 2001.

KATERJI, N.; VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.65, p.95–101, 2004.

LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R. J. C. et al. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. p.95-105.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v.49, n.2, p.107-20, 2003.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. In CHRISTI, B. R.; (ed.) **Handbook of plant science in agriculture**. Flórida: CRC Press, 1984.

MAROUELLI, W.A. Tensiômetros para controle de irrigação em hortaliças. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Circular técnico 57**, Brasília, 2008.

MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton–wheat rotation. **Agricultural Water Manage**, Amsterdam, v.81, n.1-2, p.98-114, 2006.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI; H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por planas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.758-765, 2009.

NISHIDA, K.; KHAN, N. M.; SHIOZAWA, S. Effects of salt accumulation on the leaf water potential and transpiration rate of pot-grown wheat with a controlled saline groundwater table. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.55, p.375–384, 2009.

OLIVEIRA, F. G.; FERREITA, P. A.; SANTOS, D. B.; GARCIA, G. O. Índice de estresse hídrico diário do feijoeiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, p. 6-10, 2005. Suplemento.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. S.; RAMAO, C.; CALEGARO, L.; PEITER, M. X. Efeito de diferentes estratégias de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, p. 254-269, 2009.

SANTANA, M. J.; SILVEIRA, A. L.; VIEIRA, T. A. Produção do feijoeiro irrigado com diferentes concentrações de água salina. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 2, p. 45-54, 2009.

SANTOS, A. N., SOARES, T. M., SILVA, E. F. F., SILVA, D. J. R., MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em

Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.961–969, 2010.

SANTOS, J. W. dos; MOREIRA, J. de A. N.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, F. C. Avaliação dos coeficientes de variação de algumas características da cultura do algodão: uma proposta de classificação. **Revista Oleaginosa Fibrosas**. Campina Grande, v.2, p.35-40, 1998.

SAS Institute, Inc. **The SAS System for windows**: Release versão 6,8; Cary, 1999. CD-ROM.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.15, n.4, p.383–389, 2011.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para a região norte de RECIFE-PE. **Engenharia na agricultura**, viçosa - MG, v.20 n.2, p.163-174, 2012.

WILLADINO, L.; MARTINS, M. H. B.; CAMARA, T. R.; ANDRADE, A. G.; ALVES, G. D. Resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.1209-1213, 1999.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível se obter produtividades satisfatórias quando o milho verde e o feijão-caupi são irrigados com água salina até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ e cultivados em solos arenosos na região da zona da mata Pernambucana, visto as condições climáticas locais, destacando-se o regime e intensidade de chuvas ao longo do tempo. O equilíbrio de sais no solo pode ser alcançado aplicando-se técnicas simples de manejo da irrigação, como o uso de frações de lixiviação.

A utilização de frações de lixiviação em torno de 10% mostrou que é possível conseguir produtividade equivalente à média nacional recomendada para as culturas de feijão-caupi e milho, em condições de cultivos desenvolvidos na presente pesquisa, quando se irriga com água com salinidade de $3,3 \text{ dS m}^{-1}$.

As características climáticas locais associadas a períodos de pousio e a presença de chuvas intensas, proporcionaram lixiviação drástica dos sais, tal fato permite cultivo de variedades sensíveis à salinidade em solo arenoso, entretanto a fertilização deverá ser realizada de forma parcelada para evitar a perda de nutrientes.