



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MOISÉS DE LIRA PESSÔA

USO DE CONDICIONADORES E DESENVOLVIMENTO DE SORGO
FORRAGEIRO EM ARGISSOLO AMARELO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

FORTALEZA

2020

MOISÉS DE LIRA PESSÔA

USO DE CONDICIONADORES E DESENVOLVIMENTO DE SORGO FORRAGEIRO
EM ARGISSOLO AMARELO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez

Coorientador: Prof. Dr. David Correia dos Anjos

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P568u Pessoa, Moisés de Lira.
Uso de condicionadores e desenvolvimento de sorgo forrageiro em argissolo amarelo irrigado com água salina / Moisés de Lira Pessoa. – 2020.
51 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez.
Coorientação: Prof. Dr. David Correia dos Anjos.
1. Calcário. 2. Gesso Agrícola. 3. Hidrogel. 4. Salinidade. 5. Sorgo. I. Título.

CDD 631.4

MOISÉS DE LIRA PESSÔA

USO DE CONDICIONADORES E DESENVOLVIMENTO DE SORGO FORRAGEIRO
EM ARGISSOLO AMARELO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovada em: 29/04/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. David Correia dos Anjos (Coorientador)
Universidade Estácio de Sá

Prof. Dra. Maria Eugenia Ortiz Escobar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus por sua infinita bondade e amor, por ter estado presente me apoiando como filho em todos os momentos.

À minha mãe Aldenora Lopes de Lira por todo seu apoio, cuidado e carinho a mim devotados, a senhora é meu maior exemplo.

À minha namorada Elayne Castro Correia, você é sempre luz no meu caminho e minha maior inspiração.

Ao meu orientador Fernando Felipe Ferreyra Hernandez pela orientação, ensinamentos, convivência e apoio.

Ao meu coorientador David dos Anjos, que tanto auxiliou durante todo o processo.

Ao Grupo Telles na pessoa do Giordane, pelo auxílio e suporte concedidos.

Aos amigos e colegas da turma de mestrado 2018.1, pelo compartilhamento da jornada.

Aos amigos Juliette Freitas do Carmo e Marcos Miguel Retamozo Ramos, sua amizade, parceria e apoio foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, muito obrigado.

Aos amigos George, Ítalo, Marina, Maria Albertina, Thereza Rhayane.

Aos servidores Fátima e Crisanto pelo auxílio nas análises e trabalho em laboratório.

Aos colaboradores do laboratório de análise de solo e água da Funceme, Antônio José e Amilson, pelo auxílio nas análises.

Aos servidores Edilson e Marilena por todo apoio sempre que necessário.

A Universidade Federal do Ceará, casa que me acolheu tão bem e que me orgulho tanto de ter feito parte.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo pela formação e construção de profissionais cada vez melhores.

Ao Cnpq pelo fomento à pesquisa e pela bolsa concedida, enfrentamos momentos difíceis e este órgão merece todo respeito e admiração minha e do povo brasileiro.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho, meu muito obrigado.

RESUMO

Na agricultura moderna frequentemente faz-se uso de condicionadores do solo para melhorar as condições para o desenvolvimento das culturas. Visando avaliar o efeito dos condicionadores calcário, gesso e hidrogel no desenvolvimento de sorgo em argissolo amarelo irrigado com água salina, foi conduzido um experimento em vasos em condições de casa de vegetação. Usou-se duas doses de hidrogel, duas fontes de água, e quatro combinações de calcário e gesso (0% e 0%/ 0% e 100%/ 50% e 50%/ e 100% e 0% da necessidade de cálcio, para suprir a deficiência do solo). Usou-se um esquema fatorial (2x2x4) com 4 repetições resultando em 16 tratamentos e 64 unidades experimentais. Utilizou-se Sorgo Forrageiro CV. BRS Ponta Negra que foi conduzido durante dois cortes, o primeiro aos 70 dias após a semeadura e o segundo aos 30 dias após o primeiro corte. No primeiro corte foram medidas altura, número de folhas, matéria seca. E os conteúdos de cálcio, magnésio, sódio, potássio, cobre, ferro, manganês e zinco. No segundo corte foram medidas altura, número de folhas e matéria seca. Em relação a análise dos dados foram realizadas análises de variância, teste de tukey ao nível de 5%, matriz de correlação e análise de componentes principais, onde foram gerados gráficos biplot que auxiliaram na discussão dos dados. O hidrogel se mostrou promissor no ganho de matéria seca tanto de maneira isolada como em combinação com os outros fatores, e apresentou capacidade de retenção de nutrientes. As diferentes fontes de água de irrigação foram significativas, entretanto a que resultou em maior ganho de matéria seca foi a que apresentou maior condutividade elétrica (2,96 dS/m), atribuída a tolerância da cultura a salinidade. As combinações de calcário e gesso não se mostraram significativos entre si em nenhum dos tratamentos de maneira isolada, somente se mostrando significativos em conjunto com os outros fatores. A aplicação somente de hidrogel foi capaz de aumentar a produtividade do sorgo em um argissolo amarelo.

Palavras-chave: calcário; gesso agrícola; hidrogel; salinidade; sorgo.

ABSTRACT

In modern agriculture, soil conditioners are often used to improve conditions for crop development. In order to evaluate the effect of limestone, plaster and hydrogel conditioners on the development of sorghum in yellow argisol irrigated with saline water, an experiment was carried out in pots under greenhouse conditions. Two doses of hydrogel, two sources of water, and four combinations of limestone and plaster were used (0% and 0% / 0% and 100% / 50% and 50% / and 100% and 0% of the calcium requirement, to address soil deficiency). A factorial scheme (2x2x4) with 4 repetitions was used, resulting in 16 treatments and 64 experimental units. Sorghum Forrageiro CV was used. BRS Ponta Negra that was carried out during two cuts, the first at 70 days after sowing and the second at 30 days after the first cut. In the first cut, height, number of leaves, dry matter was measured. And the contents of calcium, magnesium, sodium, potassium, copper, iron, manganese and zinc. In the second cut, height, number of leaves and dry matter were measured. In relation to the data analysis, analysis of variance was performed, tukey test at the level of 5%, correlation matrix and principal component analysis, where biplot graphs were generated, which helped in the discussion of the data. The hydrogel proved to be promising in the gain of dry matter both in isolation and in combination with the other factors and showed capacity to retain nutrients. The different sources of irrigation water were significant, however the one that resulted in the highest dry matter gain was the one that showed the highest electrical conductivity (2.96 dS / m), attributed to the culture's tolerance to salinity. The combinations of limestone and plaster were not significant in any of the treatments in isolation, only being significant in conjunction with the other factors. The application of hydrogel alone was able to increase the productivity of sorghum in a yellow argisol.

Keywords: limestone; gypsum; hydrogel; salinity; sorghum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo, município de Palhano, Ceará, Brasil.....	24
Figura 2 - Trincheira para coleta do solo a ser utilizado no experimento.....	25
Figura 3 - Condução do experimento em casa de vegetação.....	28
Figura 4 - Enchimento dos vasos a serem utilizados no experimento.....	29
Figura 5 - Plantas recém germinadas antes do desbaste.....	29
Figura 6 - Interações entre os fatores hidrogel e irrigação para as variáveis matéria seca, cálcio e sódio durante o primeiro corte.....	34
Figura 7 - Gráfico biplot mostrando a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos tratamentos no primeiro corte.....	38
Figura 8 - Análise de agrupamentos (clusters) para os tratamentos utilizados durante o primeiro corte.....	40
Figura 9 - Gráfico biplot mostrando a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos tratamentos no segundo corte.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Tratamentos utilizados no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo do município de Palhano.....	26
Tabela 2 -	Análise de água de irrigação utilizada no experimento de Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo.....	26
Tabela 3 -	Características e propriedades do Hidrogel utilizado no experimento.....	27
Tabela 4 -	Análise dos condicionadores (calcário e gesso) utilizados no experimento de Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo.....	27
Tabela 5 -	Análise do Argissolo Amarelo utilizado no experimento.....	27
Tabela 6 -	Valores das médias para os efeitos principais de tratamentos das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra.....	33
Tabela 7 -	Valores das médias para os tratamentos das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra.....	35
Tabela 8 -	Matriz de correlação das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo durante o primeiro corte.....	46
Tabela 9 -	Matriz de correlação das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo durante o segundo corte.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Argissolos.....	11
2.2 Condicionadores de solos	12
2.2.1 Gesso	12
2.2.2 Calcário	13
2.2.3 Hidrogel	15
2.3 Irrigação	16
2.3.1 Qualidade da água de irrigação	18
2.4 Solos afetados por sais.....	19
2.5 Sorgo	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Histórico da área.....	24
3.2 Amostragem	25
3.3 Tratamentos	25
3.4 Cultura.....	27
3.5 Condução do experimento	28
3.6 Variáveis analisadas	30
3.7 Análise estatística.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Primeiro corte	31
4.2 Segundo corte.....	41
5 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O uso de condicionadores de solo mudou o rumo da agricultura brasileira, podemos citar o uso de calcário nos solos do cerrado que mudaram as condições do solo e permitiram expandir as fronteiras agrícolas nacionais. Como exemplo de condicionadores de solo pode-se citar o próprio calcário, gesso e mais recentemente polímeros superabsorventes, comumente chamados de hidrogéis. A principal função dos condicionadores é alterar as condições do solo, passando de uma condição indesejável a uma condição ideal ou agricultável.

O calcário é largamente utilizado nos solos brasileiros, é principalmente atribuído a sua capacidade de elevação do pH, tornando solos ácidos aptos ao plantio. Outro uso do calcário é fornecer nutrientes ao solo principalmente cálcio, porém também magnésio. A prática da gessagem não é tão consolidada quanto a calagem, entretanto vem ganhando espaço na agricultura. O gesso agrícola fornece cálcio e enxofre as culturas, e diferentemente do calcário tem alta mobilidade no perfil do solo; tal característica confere ao produto algumas vantagens como melhoria do desenvolvimento radicular em profundidade, aumento a resistência das plantas e correção em áreas com altos teores de sódio, o que é particularmente interessante para as condições do estado do Ceará (VITTI, 2008; KUNTZE, 2009).

Os polímeros superabsorventes, cristais de rega, cristais contra seca, são comumente conhecidos como hidrogéis (AKHTER J. et al., 2004), são utilizados em diversas áreas, principalmente na medicina. Seu uso na agricultura é promissor, pode fornecer água, nutrientes, e os libera paulatinamente as culturas, aumentando não apenas sua resistência, como sua produtividade. Ao adicioná-lo ao solo é formada uma massa amorfa que é capaz de manter um ciclo de absorção e dessorção por um longo período (VUNDAVALLI et al., 2015).

O Sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma planta de metabolismo C4 pertencente a família Poaceae. É o quinto cereal mais cultivado do mundo, ficando atrás de milho, trigo, arroz e cevada. A espécie é conhecida por sua tolerância seca, salinidade e baixo requerimento de água, tornando-o adaptada ao cultivo em zonas áridas e semi-áridas. Tais características a tornam uma espécie com potencial de aumento de área plantada no estado do Ceará. No entanto apesar da capacidade produtiva da espécie a expansão da área tem se dado de modo lento devido a adubações e manejo inadequados, compactação dos solos, etc.

Os argissolos constituem grande parte dos solos do estado do Ceará e se caracterizam por serem solos medianamente profundos a profundos, com horizonte B textural logo após horizontes A ou E, sua fertilidade é variável e juntamente aos latossolos são a classe mais representativa do país (IAC, 2014). A qualidade das águas de irrigação é de fundamental importância para a produção agrícola e manutenção de um ambiente saudável, no Ceará frequentemente encontram-se águas de baixa qualidade, comumente afetadas por sais, levando a salinização de solos como os argissolos. Nesse intuito medidas devem ser tomadas para contornar tais problemas, mantendo a produção tanto quanto possível. Os condicionadores de solo e culturas resistentes são de fundamental importância nesse cenário. Dessa maneira o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de condicionadores de solo em argissolo amarelo sobre o desenvolvimento de sorgo irrigado com água salina.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Argissolos

Os argissolos são solos minerais e apresentam horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maior parte do horizonte B. Estes solos podem ser arenosos, de textura média ou argilosos no horizonte mais superficial. A fertilidade dos Argissolos é variável, e depende principalmente de seu material de origem, são juntamente com os Latossolos, os solos mais expressivos do Brasil (IAC, 2014)

Em pesquisa realizada com a cultura do melão em Argissolo Vermelho Amarelo no município de Mossoró – RN, foi avaliada a evolução da salinidade sob cultivo de melão irrigado por gotejamento (Dias et al., 2004). Os resultados mostraram que a salinidade do solo evoluiu com o tempo, estando os maiores níveis próximos de superfície do solo; a salinidade do solo atingiu seu máximo na fase intermediária do ciclo da cultura, tendendo a reduzir no final do ciclo do meloeiro; a evolução da salinidade do solo foi proporcional à concentração de sais na água de irrigação, independente da frequência de irrigação.

Em outro estudo conduzido em Argissolo Amarelo no município de Petrolina – PE, avaliou-se o efeito da irrigação com rejeito de dessalinização sobre as propriedades químicas e microbiológicas cultivados com erva-sal. Os autores observaram que a adição de sais afetou as propriedades químicas e físicas do solo com tendência à salinização e sodificação (Silva et al., 2008).

Apesar dos elevados níveis de sais as águas de baixa qualidade são por vezes a única alternativa de uso em regiões semiáridas. Diante disso um experimento conduzido em Mossoró – RN avaliou a produção de forragem de milho e sorgo, onde foram realizadas misturas de águas salinas, possibilitando a produção sem redução do teor protéico na forragem. A mistura de águas até a condutividade elétrica de 2,75 dS m⁻¹ possibilitou economia de 43,3% na água de boa qualidade, apesar da perda de aproximadamente 22% na produção de biomassa (SILVA, 2014).

Estudos mostram que o uso de condicionadores em Argissolos podem alterar as relações solo e água, como o estudo conduzido por Bortoluzzi et al. (2008) em Santa Maria –

RS, onde os autores estudaram o efeito da calagem sobre essa relação e constataram que houve incremento de água no solo entre 5,1 e 6,2 mg g⁻¹ para cada tonelada de corretivo aplicada.

2.2 Condicionadores de solos

2.2.1 Gesso

O gesso agrícola também conhecido como sulfato de cálcio, fosfogesso ou sulfato de cálcio diidratado, é obtido como subproduto durante a fabricação de ácido fosfórico que por sua vez é utilizado na fabricação dos fosfatos de amônio e apresenta-se na forma de um pó esbranquiçado. O fosfogesso é benéfico para as culturas pelo fornecimento de cálcio e enxofre, corrige áreas com alto teor de sódio e melhora o ambiente radicular em profundidade (VITTI, 2008; KUNTZE, 2009).

Diferentes estratégias são adotadas para recuperação de áreas que apresentam elevadas concentração de sais, tais como: uso de plantas extratoras, uso de técnicas para melhorar a drenagem do solo e o uso de corretivos como o gesso agrícola, etc. Em geral, os resultados mais satisfatórios ou mais eficientes são alcançados, quando são aplicadas técnicas combinadas de recuperação de tais áreas afetadas pela presença dos sais (PEDROTTI, 2015). Nesse sentido em pesquisa realizada utilizando gesso proveniente de resíduos da construção civil na correção de solo salino-sódico pôde-se constatar que a aplicação de resíduos de gesso foi eficaz na lixiviação de sais e sódio solúvel, podendo ser recomendado na recuperação da sodicidade (SANTOS et al. 2014). O gesso é comumente utilizado como condicionador de solos sendo vantajoso devido a sua disponibilidade e baixo custo (MELO et al., 2008).

A salinidade do solo ou da água utilizada na irrigação, afeta o desenvolvimento das plantas em diferentes estágios de desenvolvimento. Dessa forma, um dos principais desafios dos pesquisadores atualmente, está relacionado com o desenvolvimento ou adaptação de técnicas de manejo cultural que permitam a exploração agrícola de forma econômica, mesmo sob condições em que o convívio com condições ambientais adversas, como a salinidade, seja inevitável (GUIMARÃES, 2013). A utilização de corretivos, principalmente o gesso, tem sido uma alternativa para a recuperação desses solos (HOLANDA, 2007).

O gesso favorece o movimento de nutrientes no solo, principalmente o cálcio, o que melhora o crescimento das raízes permitindo que as culturas possam explorar maiores volumes

de solo na busca de água e nutrientes (FERNANDES, 2018). Níveis adequados de cálcio e enxofre melhoram a absorção de nutrientes como nitrogênio e fósforo pelas plantas contribuindo para uma nutrição mais eficiente (AGUILAR et al., 2012). Sobral et al. (2009) em pesquisa aplicando gesso e calcário em Argissolo com camada compactada, notaram que a aplicação de gesso aumentou os níveis de cálcio e sulfato na camada compactada e que um aumento no comprimento das raízes foi observado nessa camada.

Na correção da sodicidade o gesso atua no deslocamento do Na^+ do complexo de troca para a solução do solo, essa ação é devida a seletividade do Ca^{2+} pelas partículas de argila ser maior que a do íon Na^+ ; contudo o sódio necessita ser retirado do perfil mediante lavagem pois a reação é reversível (GHEYI et al., 2016). Deve-se atentar para o fato de que as reações de substituição entre o sódio da forma trocável para a solúvel dependem da quantidade de gesso aplicada ao solo e também é influenciado pela velocidade de infiltração, quantidade e qualidade da água aplicada (FILHO et al., 2012).

Muguiro et al. (2017) observaram a diminuição do Na^+ e PST até a profundidade de 0,4m ao incorporarem gesso ao solo, além de notarem que as condições físicas do solo melhoraram. Apesar das vantagens na escolha do condicionador adequado deve-se levar em consideração vários fatores, e em muitos casos o custo é o mais importante na tomada de decisão.

2.2.2 Calcário

O calcário é largamente usado na agricultura tropical como corretivo da acidez de solos. A calagem consiste na aplicação de calcário ao solo e posterior incorporação, o seu principal objetivo é a elevação do pH desses solos que são em sua maioria ácidos (INSTITUTO DA POTASSA E FOSFATO, 1998). Além da correção do pH o calcário também é considerado eficiente fonte de cálcio e magnésio (TRANI, 2006).

A faixa ideal de pH para a maioria das espécies cultivadas situa-se entre 5,5 e 6,5, que é onde estão disponíveis a maior parte dos elementos essenciais as plantas. Outro efeito causado pela correção do pH é a imobilização de formas tóxicas de alumínio que causam perda de produtividade (CIOTTA et al., 2004). Tais efeitos são demonstrados por Anjos et al. (2011) onde os autores conduziram pesquisa em Argissolo Amarelo em Umbaúba – SE, objetivando

estudar diferentes doses de calcário e seus efeitos no solo, concluindo que a calagem elevou o pH, saturação por bases, e diminuiu os teores de Al^{3+} .

Há dois tipos principais de calcários usados na agricultura, o calcítico e o dolomítico. O calcário calcítico apresenta apenas carbonato de cálcio em sua composição, já o dolomítico apresenta além do carbonato de cálcio o carbonato de magnésio, o uso de cada uma das formas apresenta vantagens e desvantagens do ponto de vista nutricional (PRIMAVESI, 2004). Se houverem baixos níveis de magnésio no solo é interessante a utilização de calcário dolomítico, pois este elevará os níveis de tal elemento, contudo se esses valores já forem elevados não convém utilizar o calcário dolomítico e sim o calcítico, pois podem ocorrer desordens nutricionais; há uma importante relação entre os níveis desses dois elementos no solo a relação Ca/Mg deve ser de 2,5/1, ou seja os valores de cálcio devem ser 2,5 vezes maior que os de magnésio.

Aproximadamente 30% das áreas cultiváveis no mundo consistem de solos ácidos, tal característica é própria de solos maduros do ponto de vista pedogenético. No Brasil os solos do Cerrado são ácidos e até meados da década de 70 eram considerados áreas marginais, sem qualquer aptidão agrícola, devido principalmente a sua toxidez por alumínio; o advento do uso do calcário expandiu a fronteira agrícola no país, permitindo que extensas áreas pudessem entrar no sistema produtivo (FILHO, 2016).

Quando se trata da aquisição do calcário deve-se levar em consideração uma característica fundamental do produto, a PRNT sigla utilizada para poder relativo de neutralização total. O valor da PRNT deve ser o maior possível, pois o calcário ao contrário do gesso é pouco solúvel, ocasionando baixa movimentação ao longo do perfil (aproximadamente 2 cm/ano), por esta razão é extremamente necessária incorporação do produto ao solo através de grade ou arado (PARAHYBA, 2004).

Em relação a sua aplicação o calcário deve ser incorporado ao solo por aração e gradagem, devendo ser incorporado de preferência na camada de 0-20 cm de profundidade (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004). Entretanto para áreas de plantio direto a incorporação não é possível devido a premissas do sistema. Nesse sentido pesquisa realizada em Eldorado do Sul – RS procurou estudar os efeitos da aplicação de calcário em Argissolo Vermelho, com aplicação em superfície sem incorporação, observou-se que os valores de pH e os demais atributos químicos, foram, como esperado, mais uniformes quando

o calcário foi incorporado, e formaram gradientes a partir da superfície quando não foi incorporado (AMARAL e ANGHINONI, 2001).

2.2.3 Hidrogel

Hidrogéis são materiais poliméricos que, em condições específicas, podem absorver grande quantidade de água, assim como uma solução nutritiva ou algum composto de interesse (RABAT, 2016). Existem diversos tipos de hidrogéis que podem ser divididos basicamente em duas classes, o hidrogel físico e o químico.

O físico é formado por ligações fracas, sem pontos de reticulação, conhecidos também como hidrogéis naturais, como a gelatina e o amido (LOPES, 2014). Já o hidrogel químico é um material reticulado e, uma vez formado, não pode ser dissolvido. Devido a isso, apresentam cadeias poliméricas mais resistentes, sendo possível ligar a elas diversos grupos funcionais de interesse para melhorar ainda mais suas propriedades e até mesmo ligar grupos que tornem o hidrogel biodegradável, que é o caso dos polissacarídeos.

Por ter propriedades de um material que tem afinidade com água e com capacidade de carregar diversos compostos consigo, os hidrogéis são aplicados em diferentes áreas, como na medicina (curativos, próteses, liberação controlada de fármacos) e mais recentemente, na agricultura. Os hidrogéis superabsorventes são uma classe particular de géis, obtidos por estabilização química de polímeros hidrofílicos em uma rede tridimensional (MONTESANO et al., 2015).

Materiais superabsorventes são complexos polímeros hidrofílicos que tem capacidade de absorver grandes volumes de líquidos aquosos dentro de um curto período de tempo e liberar a água absorvida sob condições de estresse. Quando esses absorventes são misturados ao solo, uma massa gelatinosa amorfa é formada sob hidratação. Eles são capazes de manter um ciclo de absorção e desorção por um longo período. Conseqüentemente esses absorventes atuam como uma fonte de liberação lenta de água e nutrientes no solo (VUNDAVALLI et al., 2015).

Polímeros sintéticos na forma de cristais ou pequenos grânulos disponíveis sob vários nomes comerciais tais como polímeros superabsorventes, cristais de rega das raízes, cristais contra seca, são comumente conhecidos como hidrogéis (AKHTER J. et al., 2004).

Os hidrogéis apresentam grande aptidão na agricultura, devido a retenção de umidade que pode ser utilizada pelas culturas de interesse, aumentando a eficiência dos cultivos, possibilitando cultivos em áreas marginalizadas, reduzindo os riscos de erosão dentre outras vantagens. Tem sido utilizado sobretudo no plantio de mudas arbóreas em áreas urbanas, entretanto há potencial no uso em plantios comerciais devido à redução de água para irrigação. Aparentemente o uso de hidrogéis não é eficiente na fase de germinação, contudo no estabelecimento de plantas tem se mostrado eficiente (AKHTER J. et al., 2004).

Chen et al. (2004) ao adicionarem 0,6% de hidrogel a um solo salino melhorou o crescimento das plântulas de *Populus euphratica* (2,7 vezes mais biomassa) durante um período de 2 anos. O comprimento da raiz e a área superficial da planta tratada tiveram um crescimento 3,5 vezes maior do que as plantas cultivadas em solo não tratado. Foi relatado que o tratamento com hidrogel aumentou a absorção de cálcio e aumentou a tolerância de *Populus euphratica* a sais (reduzindo o contato com sódio e cloro na raiz).

Apesar dos resultados encontrados por Chen et al. (2004) a hidratação dos hidrogéis pode ser afetada pela presença de sais, soluções contendo sais monovalentes de potássio e amônio, e sais divalentes de cálcio e magnésio podem reduzir a hidratação dos hidrogéis em 75% e 90% respectivamente (BOWMAN E EVANS, 1991). Os materiais poliméricos superabsorventes são frequentemente géis poli eletrolíticos compostos de acrilamida, e acrilato de potássio. Portanto, eles aumentam muito menos de volume na presença de sais monovalentes e podem colapsar na presença de íons multivalentes (ZOHURIAAN-MEHR E KABIRI, 2008).

2.3 Irrigação

A irrigação é o processo de aplicação de água ao solo, primeiramente visando atender as necessidades das culturas exploradas comercialmente. Água oriunda de rios, reservatórios, açudes, lagos, aquíferos, é bombeada ou flui por gravidade através de canos, canais, valas ou córregos. A irrigação aumenta a magnitude, qualidade e confiabilidade da produção agrícola (BJORNEBERG & SOJKA, 2005).

De acordo com Mendes (1998), dos benefícios verificados na prática da irrigação, destacam-se: O aumento da produtividade da ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro; Redução do custo unitário de produção; Utilização do solo durante todo o ano com até 3 (três) culturas/ano; Utilização intensiva de máquinas, implementos e mão-de-obra ao

longo do ano; aumento na oferta de alimentos e outros produtos agrícolas com regularidade ao longo do ano; atenuação do fator sazonalidade climática; preços mais favoráveis para o produtor rural; Viabilização da implantação de agroindústrias; maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas; abertura de novos mercados, inclusive no exterior; produção de culturas nobres; elevação da renda do produtor rural; maior garantia de colheita para o produtor rural pela redução do fator risco, causado por problemas climáticos desfavoráveis; redução da sazonalidade da oferta de empregos; modernização dos sistemas de produção, estimulando a introdução de novas tecnologias como a quimigação; plantio direto com sementes selecionadas, conservação do solo e da água; maior viabilidade para Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil; criação de polos agroindustriais para o aproveitamento da produção e produção de sementes de alta qualidade contribuindo para o aumento da produtividade em geral.

Sabe-se que a redução do teor de água no solo para níveis críticos, por longo tempo, gera alterações e desordens de natureza fisiológica com reflexos na anatomia, fenologia e crescimento das plantas e, por extensão, na produtividade e na qualidade do produto colhido, o que mostra a importância do uso da irrigação nos cultivos (MAROUELLI et al., 2011).

Vários métodos de irrigação podem ser utilizados para o suprimento adequado de água as culturas durante o período de déficit de umidade do solo. Os métodos mais comuns são irrigação por superfície, aspersão e gotejamento. Cada um tem suas vantagens e desvantagens, que dependem de tipo de solo, topografia, cultura, disponibilidade e qualidade de água (RAI et al., 2017).

Dentro do método de aplicação por aspersão temos os sistemas móveis e imóveis, e entre estes há a irrigação por pivô central, que é o tipo de irrigação atualmente utilizado na propriedade de estudo deste trabalho, no município de Jaguaruana-CE.

Os pivôs centrais abrangem grandes áreas (a área mínima economicamente viável está em torno de 40ha) e apresentam vantagens tais como a redução de mão de obra, a adaptação a várias culturas e uniformidade de aplicação. Entretanto, apesar das vantagens, o alto custo de implantação e manutenção que se configuram em desvantagens para este tipo de irrigação (BJORNEBERG, 2013). Em virtude disso, a viabilidade da instalação de pivôs centrais depende do retorno econômico para a propriedade, em que é buscado também o uso mínimo de energia e a preservação do ambiente.

No Brasil, o sistema de irrigação pivô central tem sido usado principalmente para a irrigação de cereais, porém o seu uso tem sido crescente para irrigar pastagens e fruticultura (FOLEGATTI; PESSOA, PAZ, 1998). Estima-se que o uso do pivô central na área irrigada total do país passe de 19,9% para 28,6% no ano de 2030, o que o fará assumir a posição de principal sistema de irrigação no país (ANA, 2019).

A nível de região, o sistema de irrigação por pivô central predomina na região Centro Oeste, enquanto no Sudeste e no Nordeste, esse sistema é tão importante quanto a aspersão convencional e o gotejamento. No Sul, o pivô central é considerado o segundo principal sistema, ficando atrás do sistema de inundação, que é muito utilizado nos cultivos de arroz. Na região Norte, que é a região com menor desenvolvimento da agricultura irrigada, os pivôs não apresentam participação de destaque (ANA, 2019).

Apesar da irrigação ser considerada uma técnica de suma importância na produção agrícola, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, um dos problemas relatados a adoção desta tecnologia, é que o seu uso é muitas vezes conduzido de forma inadequada, o que causa a degradação de áreas extensas, tornando os solos salinos e/ou sódicos (SAADAT; HOMAEE, 2015). Visto isso, ressalta-se a importância da realização de pesquisas de campo, em que cultivos de interesse sejam manejados em sistemas de irrigação, de modo a se buscar um manejo eficiente para o uso água e que tenha como consequência o aumento de produtividade e a manutenção da capacidade produtiva dos solos.

2.3.1 Qualidade da água de irrigação

A qualidade da água de irrigação é fator essencial para a produção agrícola, é necessária uma boa fonte com o mínimo de sais ou minerais dissolvidos, não existem fontes puras do ponto de vista químico. A qualidade é medida em função de salinidade (condutividade elétrica, total de sais dissolvidos), sodicidade (porcentagem de sódio na água, relação de adsorção de sódio), toxicidade (conteúdo de cloro, conteúdo de sódio, conteúdo de boro, conteúdo de microelementos) e pH (LIETH & OKI, 2008; ALMEIDA, 2010).

A partir dos resultados das análises podemos tomar a melhor decisão em relação ao manejo da água que é outro fator importante quando se trata de irrigação. O manejo correto é aquele que ao longo do cultivo fornece as plantas e ao solo quantidades adequadas de água, sem excesso ou déficit. Em condições de campo, as plantas encontram-se, durante todo o ciclo de

desenvolvimento, sujeitas a estresses ambientais resultantes das variações do sistema solo-atmosfera, que influenciam as taxas de crescimento e desenvolvimento. O teor de água no solo é um dos mais significativos componentes desse complexo.

2.4 Solos afetados por sais

Solos afetados por sais são típicos de regiões áridas e semi-áridas, e geralmente resultam da formação geológica predominante, má distribuição das chuvas, drenagem deficiente e inadequado manejo da produção agrícola. No Brasil essas áreas estão localizadas principalmente na região nordeste, sobretudo em áreas irrigadas (HOLANDA, 2007; PEDROTTI, 2015).

A expansão de terras apresentando problemas de salinização em regiões áridas e semiáridas é motivo de grande preocupação, principalmente por se concentrarem em áreas irrigadas. O uso da irrigação sem manejo adequado e condições eficientes de drenagem contribui para aceleração do processo de salinização, podendo alcançar níveis prejudiciais em curto espaço de tempo (HOLANDA *et al.*, 2001)

A salinização é um processo complexo que envolve o movimento de sais e água durante ciclos sazonais, em que intemperismo, águas subterrâneas, sais adicionados pelas atividades antrópicas são fontes de sais. Em muitos solos salinos do mundo o sódio é o elemento predominante, mas sais de outros cátions como cálcio, magnésio e ferro também são encontrados (RENGASAMY, 2006).

Solos que sofrem processo de salinização necessitam de estratégias que levem a recuperação ou melhora das qualidades físico-químicas do solo. Para o controle dos níveis desses sais parâmetros são utilizados, e um deles é a porcentagem de sódio trocável. A porcentagem de sódio trocável no solo é um parâmetro de determinação do caráter sódico. De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos o caráter sódico serve de base para classificação de solos afetados por sais, solos que apresentam valores calculados de PST $\geq 15\%$ são considerados sódicos, solos com valores de PST entre 6 e 15% são classificados como solódicos. Para a melhora de solos sódicos e salino-sódicos é necessária uma fonte de cálcio, que substitui o excesso de sódio presente no complexo de troca do solo (QADIR, 2001; SANTOS, 2018).

Altas concentrações de sódio no solo seja em solução seja adsorvido aos colóides causam diversos problemas como a retirada dos íons cálcio e magnésio do complexo de troca, estruturação fraca, baixa condutividade hidráulica, baixas taxas de infiltração, má aeração e tornam o solo suscetível a processos erosivos (SPARKS, 2003; MUGUIRO et al., 2017). Tais efeitos afetam não somente a agricultura, mas também construções que sofrem problemas em suas estruturas.

Problemas de salinidade e sodicidade ocorrem principalmente por dois processos distintos, combinados ou não: processos naturais e processos antrópicos. Por vias naturais o aumento de sais no solo ocorre normalmente devido a materiais de origem ricos em sais como feldspatos, contudo esse acúmulo também pode ser ocasionado devido a transportes de sais de áreas elevadas para áreas deprimidas, ou por quaisquer impedimentos físicos no perfil (CORDEIRO, 1983; GHEYI, 2016).

A via antrópica é causada pelas diversas atividades humanas, em um contexto agrícola podemos citar uso incorreto de fertilizantes, agroquímicos, irrigação, ausência de drenagem, descarte inadequado de produtos da agropecuária entre outros. Solos afetados por sais ocorrem sob condições naturais, porém os problemas mais sérios de salinização são representados por solos anteriormente produtivos que se tornam salinos ou sódicos devido a ações humanas. (SALAZAR, 1983; FILHO et al., 2012).

A degradação dos solos devido a sodicidade pode ser irreversível e deve inspirar cuidados preventivos ao invés dos corretivos, principalmente em solos que apresentam como características a contração e expansão das argilas (VAN DER ZEE et al., 2013). Os mesmos autores afirmam que a variabilidade espacial e temporal das chuvas são responsáveis pela variação na salinidade na zona radicular, mas que a sodicidade especificamente expressa em PST depende predominantemente da variação espacial.

Solos sódicos são inerentemente baixos em matéria orgânica (<0,1%) e nitrogênio disponível, e são mais responsivos a aplicação de nitrogênio. Esses solos são mais inclinados a perdas de N devido à alta volatilização deste elemento causado principalmente por alto pH, dessa maneira o requerimento por nitrogênio em solos sódicos é maior que em solos normais e variedades tolerantes a sais aparentam responder melhor a maiores doses de nitrogênio que variedades sensíveis (SINGH et al., 2016).

Em geral os problemas de salinidade do solo aparecem como consequência da acumulação de sais em zonas e profundidades onde o regime de umidade do solo é caracterizado por fortes perdas de água por evaporação e transpiração, e redução da lixiviação dos sais remanescentes. Os problemas de sodicidade aparecem como consequência das mudanças na composição e concentração desses sais, com mudanças no equilíbrio dos cátions trocáveis, induzindo a um maior acúmulo relativo de porcentagem de sódio trocável (PLA SENTÍS, 2014).

2.5 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma planta C4 pertencente à família Poaceae, tem origem na África e sua domesticação ocorreu entre três e cinco mil anos atrás (ARENDR, ZANNINI, 2013). A cultura do sorgo é conhecida pela sua tolerância a seca e baixo requerimento de água (KOTHARI et al., 2019). Em relação ao uso, o sorgo pode ser categorizado em cultivares de quatro tipos: granífero, açucareiro, forrageiro e biomassa (TAYLOR, 2019). A espécie é o 5º cereal mais cultivado no mundo, precedido pelo milho, trigo, arroz cevada (PATERSON, 2008).

No Brasil, a produção e a área cultivada com sorgo cresceram consideravelmente a partir da década de 70, alavancando na segunda metade dos anos 90. A produção de sorgo saltou de 435,1 mil toneladas na safra 1976/77 para 2135,8 mil toneladas na safra 2017/18. Isso se deu como resultado da combinação de vários fatores, como a valorização do sorgo pelo comércio de rações, pela maior oferta de sementes, pela expansão do plantio direto, em que o sorgo passou a ser usado como palha e por ações de divulgação da cultura pelos órgãos governamentais competentes (CONAB,2018).

No mundo a produção mundial de sorgo é liderada pelos Estados Unidos, seguido de Nigéria, México, China, Sudão, Etiópia e Argentina. Nos países em desenvolvimento e nos subdesenvolvidos a espécie é utilizada sobretudo para alimentação humana, enquanto nos países desenvolvidos é principalmente utilizada na alimentação animal. Como por exemplo nos Estados Unidos e Austrália onde sorgo é usado para produção de ração, forragem e mais recentemente etanol. No Brasil o sorgo ainda tem pouco espaço na produção em comparação com outros cereais como milho e soja, e sua produção é destinada principalmente para alimentação animal, seja como silagem, grãos ou ração (ROONEY et al., 2016; REDDY, 2019).

Ademais, a espécie também é utilizada como matéria prima no setor de alimentação humana, presente em produtos como pães integrais, bolos, biscoitos, macarrão, salgadinhos e cervejas. Os produtos do setor industrial feitos à base de sorgo também têm elevado potencial de inserção na indústria promotora de saúde, devido a ação dos compostos fenólicos antioxidantes altamente bioativos da espécie (RAO et al., 2018; MONTHE et al., 2019).

O *sorgo* é considerado uma espécie adaptada e com potencial para o cultivo em zonas áridas e semiáridas no mundo devido a sua boa eficiência na utilização de água, a tolerância prolongada a déficits hídricos e a capacidade de produzir grandes volumes de biomassa, com possibilidade de aproveitar a rebrota na cultivar forrageira, e pela versatilidade para ensilagem, feno, pastejo direto, por exemplo (VON PINHO, 2007; INÁCIO et al., 2018; TANG et al., 2018). Em relação ao cultivo em zonas semiáridas estudo realizado em Argissolo vermelho amarelo em Petrolina – PE avaliou o cultivo de variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura. Observou-se que o sorgo forrageiro irrigado com efluente salino (CE de 2,5 dS m⁻¹), com fração de lixiviação de 15% apresentou um aumento percentual de até 25% na produtividade quando comparada à do sorgo sem fração de lixiviação (GUIMARÃES, 2016).

No entanto, apesar da capacidade adaptativa da espécie e dos benefícios do seu cultivo, a expansão da área cultivada com sorgo tem se apresentado de modo lento, devido principalmente ao manejo inadequado da cultura. Alguns fatores como adubações inadequadas, compactação, baixa fertilidade dos solos e problemas de salinização e sodificação do solo têm sido apontados como fatores a serem trabalhados e estudados para ser alcançada uma maior expressão na produção de sorgo (BASSO et al., 2011; HUANG, 2018).

Visando melhorar esse cenário estudos têm sido realizados para melhor aproveitamento da cultura. Kurai et al. (2015) realizaram um experimento com duas cultivares de sorgo irrigado no semiárido indiano buscando achar a melhor dose de nitrogênio aplicado sem causar perdas no rendimento. Os autores chegaram à conclusão que a dose de 90 kg/ha foi a mais adequada para uma produção sustentável após a estação chuvosa. Cosentino et al. (2012) realizaram um estudo testando diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada e concluíram que os níveis de adubação não afetaram o rendimento da cultura, mas que os diferentes regimes hídricos afetaram na produção.

Por tudo isso, ressalta-se a importância da realização de pesquisas que aumentem o potencial produtivo da cultura do sorgo, entre elas pesquisas no manejo da cultura (Irrigação, adubação, manejo do solo) principalmente em regiões de baixa disponibilidade hídrica, a fim de oferecer informações técnicas úteis aos produtores de sorgo e pesquisadores que trabalhem em regiões de condições agroclimáticas semelhantes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para conseguir os objetivos propostos foi realizado um experimento em casa de vegetação pertencente a Universidade Federal do Ceará.

3.1 Histórico da área

Para a realização do experimento foi utilizado um Argissolo Amarelo proveniente da Fazenda São Tomé (Figura 1), pertencente ao Grupo Telles. A fazenda está situada no Município de Palhano, distante 131 km de Fortaleza, capital do estado do Ceará, Brasil. Palhano situa-se na região do Baixo Jaguaribe e faz divisa com os municípios de Beberibe, Aracati, Itaiçaba e Jaguaruana (IPECE, 2007). Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2007), o município está inserido em dois tipos climáticos, Tropical Quente Semi Árido e Tropical Quente Semi Árido Brando, apresentando normal climatológica de 733,6 mm.

Figura 1 - Localização da área de estudo, município de Palhano, Ceará, Brasil.



Fonte: Autor

A Fazenda São Tomé possui 8 pivôs centrais de irrigação e durante o período seco irriga com água de 10 poços profundos cuja salinidade é relativamente alta entre 2 e 4 dS/m, por esse motivo comumente se utiliza mistura de águas. Desse modo um dos problemas apresentados é a baixa produtividade de milho e sorgo que são geralmente cultivados e são utilizados para silagem. A baixa produtividade é atribuída principalmente a salinidade e/ou sodicidade que variam em função do tempo. Esse fato tem levado ao uso dos condicionadores calcário, gesso e hidrogel de forma isolada, e em último caso abandono de alguns pivôs centrais

de irrigação. Em geral os solos apresentam boa drenagem por apresentar textura arenosa nas camadas superficiais e franco arenosa nos horizontes subsuperficiais.

3.2 Amostragem

Pelo fato de o solo dos pivôs ter sido bastante alterado o solo foi coletado na camada de 0 a 20 cm em área adjacente ao pivô central de irrigação número 4 da fazenda (Figura 1) cuja vegetação estava constituída por mata nativa. A coleta foi realizada após abertura de trincheira (Figura 2) com a finalidade de confirmar a classe de solo, as coordenadas do ponto de coleta foram UTM 9475137 S, 625718 E. Após a coleta o solo foi transportado para o Departamento de Ciências do Solo (DCS - UFC) da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde foi seco ao ar e homogeneizado antes do enchimento dos vasos de polietileno.

Figura 2 - Trincheira para coleta do solo a ser utilizado no experimento



Fonte: Autor

3.3 Tratamentos

Foram utilizados 16 tratamentos (Tabela 1) resultantes da combinação de duas fontes de água, duas doses de hidrogel e 4 fontes de cálcio, resultando em um experimento em esquema fatorial de 2x2x4 com 4 repetições por tratamento, resultando em 64 unidades experimentais. As fontes de água utilizadas na irrigação foram: 1 – Mistura de águas dos poços profundos da Fazenda São Tomé com condutividade elétrica média de 2,96 dS/m. 2 – Água do

poço do Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF) de condutividade elétrica média de 0,7 dS/m (Tabela 2).

Tabela 1 - Tratamentos utilizados no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo do município de Palhano.

Número do tratamento	Código	Hidrogel	Irrigação	Calcário	Gesso
-	-	g/kg	-	%	
1	H1I1G1	0	POÇO	0	0
2	H1I1G2	0	POÇO	0	100
3	H1I1G3	0	POÇO	50	50
4	H1I1G4	0	POÇO	100	0
5	H1I2G1	0	FAZENDA	0	0
6	H1I2G2	0	FAZENDA	0	100
7	H1I2G3	0	FAZENDA	50	50
8	H1I2G4	0	FAZENDA	100	0
9	H2I1G1	3,3	POÇO	0	0
10	H2I1G2	3,3	POÇO	0	100
11	H2I1G3	3,3	POÇO	50	50
12	H2I1G4	3,3	POÇO	100	0
13	H2I2G1	3,3	FAZENDA	0	0
14	H2I2G2	3,3	FAZENDA	0	100
15	H2I2G3	3,3	FAZENDA	50	50
16	H2I2G4	3,3	FAZENDA	100	0

Fonte: Autor

Tabela 2 - Análise de água de irrigação utilizada no experimento de Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo

	Cátions				pH	CE	RAS
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺			
	mmol/L					dS/m	
Água Fazenda	1,31	4,41	20,9	0,4	7,7	2,96	12
Água UFC	0,3	0,7	3,7	0,1	6,5	0,55	5,23

Fonte: Autor

O hidrogel utilizado foi comercial da marca Forth Jardim™ (Tabela 3), em duas doses: 1 – Sem hidrogel e 2 – 1g de hidrogel por quilo de solo (Dose recomendada pelo fabricante). As fontes de cálcio utilizadas foram calcário dolomítico e gesso agrícola (Tabela 4), nas doses de: 1 – Sem adição de cálcio. 2 – 100% de cálcio na forma de gesso. 3 – 50% de cálcio na forma de gesso + 50% de cálcio na forma de calcário. 4 – 100% de cálcio na forma de calcário. A quantidade aplicada de cálcio baseou-se nos resultados na análise de solo (Tabela 5), sendo calculada (Equação 1) visando corrigir a deficiência de cálcio no solo (AQUINO, et al., 1993). Esse resultado foi considerado a dose de 100% de cálcio.

Tabela 3 - Características e propriedades do Hidrogel utilizado no experimento.

Características	Propriedades
Tipo	Copolímero Poliacrílico de Potássio Poliacrilamida
CTC	532,2600 (mmolc/dm ³)
CRA	1.526,6900 %
Natureza física	Farelado
Condicionador de Solo	Classe E

Fonte: Forth Jardim TM

Tabela 4 - Análise dos condicionadores (calcário e gesso) utilizados no experimento de Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo

Corretivo	Composição				PN	RE	PRNT
	CaO	Ca	Mg	S			
%.....						
Calcário dolomítico (CaCO ₃)	24,6	17,63	14	-	84,91	98,08	83,28
Gesso agrícola (CaSO ₄ .2H ₂ O)	14,77	10,85	-	19	-	-	-

PN = Poder de Neutralização, RE = Reatividade, PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total
Fonte: Autor

Tabela 5 - Análise do Argissolo Amarelo utilizado no experimento

Complexo sortivo									
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	S	V	pH	CE
Cmol/kg						%	%	H ₂ O	dS/m
0,709	0,341	0,241	0,188	0,275	1,75	1,47	84,51	6,07	1,1
Composição granulométrica g/kg									
Areia		Silte		Argila		Argila Natural		Textura	
918		38		44		30		Areia	

Fonte: Autor

Equação 1: Fórmula utilizada para calcular a necessidade de calagem do experimento

$$NC \text{ (t/ha)} = 2 - \frac{\text{mmol}_c * \text{dm}^{-3} \text{ Ca}^{2+} \text{ Mg}^{2+}}{10} \times \frac{100}{PRNT}$$

3.4 Cultura

A cultura utilizada para realização do experimento foi o Sorgo Forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar BRS ponta negra. De acordo com o fabricante das sementes (GranSafraTM) é uma cultivar resistente ao acamamento, adaptada à região do semiárido nordestino, tolerante à seca, à toxicidade por alumínio, à acidez do solo, ao fotoperiodismo e

resistente às principais doenças, principalmente à antracnose. Possui ciclo de 110-120 dias, altura de planta média de 2,20 m e massa verde média de 50 Mg/ha. Além disso o sorgo é tolerante a salinidade apresentando 100% de rendimento potencial com água de condutividade elétrica de 4,5 dS/m (MAAS e HOFFMAN, 1977)

3.5 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 3), pertencente ao DCS – UFC. O departamento localiza-se no Campus do Pici da UFC no município de Fortaleza, estado do Ceará, o município apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 3° 44' 35,2" S e longitude 38° 34' 33,0" W. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw, pertencendo ao grupo de clima tropical chuvoso (temperatura média no mês mais frio maior ou igual a 18 °C e precipitação no mês mais seco menor que 30 mm), possui pluviosidade média anual (2010 a 2018) de 1320,5 mm, temperatura média de 27,3 °C e umidade relativa do ar média de 77% (INMET, 2019).

Figura 3 - Condução do experimento em casa de vegetação



Fonte: Autor

Foram utilizados vasos com 3L de capacidade, para que não houvesse perda de solo ao longo do experimento foram colocados no fundo dos vasos uma pequena tela de nylon cortada de acordo com o tamanho do vaso, e acima dela um disco de papel filtro. Esse procedimento foi adotado em todas as unidades experimentais. Para o enchimento dos vasos foram pesados 3,3 kg de solo em um saco plástico, e em seguida adicionados os condicionadores: calcário, gesso e hidrogel.

Os condicionadores foram adicionados de acordo com o tratamento, homogeneizados por agitação manual e colocados em vasos devidamente identificados (Figura 4). Após essa etapa o solo dos vasos foi umedecido com água de menor salinidade até que ocorresse leve drenagem. Então realizou-se o plantio de sorgo forrageiro colocando-se 10 sementes por vaso (Figura 5), aos 15 dias após a germinação foi realizado o desbaste deixando-se 4 plantas por vaso.

Figura 4 - Enchimento dos vasos a serem utilizados no experimento



Fonte: Autor

Figura 5 - Plantas recém germinadas antes do desbaste



Fonte: Autor

Os vasos foram irrigados diariamente com águas de duas fontes distintas de acordo com os tratamentos, a quantidade de água aplicada foi a mesma para todos os tratamentos, a irrigação foi feita de modo a levar os vasos a saturação. As plantas foram adubadas com solução nutritiva de Hoagland e Arnon semanalmente ao longo do ciclo da cultura, onde foram aplicadas as mesmas quantidades de solução para todos os tratamentos. A quantidade de nutrientes aplicada ao longo do ciclo foi 300 mg de N, 250 mg de P e 200 mg de K.

O experimento foi conduzido por dois cortes, o primeiro realizado aos 70 dias após a semeadura no segundo nó acima do colo, coletando-se a parte aérea. O segundo corte realizou-se aos 30 dias após o primeiro corte coletando-se a parte aérea rente ao solo. Em ambos os cortes o material coletado foi posto em sacos de papel kraft, posto para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, e moído em moinho tipo Willey com peneira de 1mm. Para a análise do material vegetal foi realizada digestão por via seca em mufla elétrica de acordo com metodologia descrita em SILVA, F. C. da (2009).

3.6 Variáveis analisadas

Após cada corte da parte aérea da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

Avaliação Morfológica: Altura, medida com auxílio de trena graduada da base da planta com o solo até a junção da última folha com o colmo. Número de folhas, contadas da base da planta ao ápice.

Massa seca da parte aérea (MS): Determinada a partir da pesagem do material vegetal seco em estufa de circulação de ar forçada, após o material atingir peso constante a 65°C.

Composição elementar da massa seca: Foram determinados os macronutrientes K, Ca, Mg, micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn, e Na.

Todos os elementos foram extraídos por digestão seca, sendo transferido 0,5 g de material seco e triturado para cadinho de porcelana, e levados para mufla elétrica, onde permaneceram por 30 min a uma temperatura de 300°C e 3 horas em temperatura de 500°C. Após a digestão o material foi retirado da mufla e adicionado ácido nítrico com concentração 1mol/litro. Essa mistura foi transferida para balão volumétrico, preenchendo o balão com ácido até completar seu respectivo volume de 50 ml, posteriormente as amostras foram filtradas em papel filtro de filtragem lenta, onde os extratos foram armazenados em garrafas plásticas.

As leituras dos teores de nutrientes foram realizadas com a utilização de fotômetro de chama e espectrofotômetro de absorção atômica. Toda a análise do material vegetal foi realizada de acordo com metodologia descrita em SILVA, F. C. da, 2009.

3.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) seguindo delineamento inteiramente casualizado e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram realizadas análises multivariadas, análise de componentes principais e análise de agrupamentos (clusters). Em ambas as análises o software estatístico utilizado foi o SAS versão gratuita.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Primeiro corte

Os valores médios das variáveis estudadas para os efeitos principais de tratamentos assim como os coeficientes de variabilidade resultantes da análise de variância e as diferenças estatísticas entre tratamentos obtidas pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade estão apresentadas na Tabela 6. Os resultados das médias dos tratamentos estão dispostos na Tabela 7. Nas referidas tabelas verifica-se que a aplicação de hidrogel aumentou a produção de matéria seca, número de folhas, cálcio e sódio em relação aos tratamentos sem hidrogel, de forma significativa ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Barros (2016) trabalhando com sorgo em casa de vegetação também observou aumento de matéria seca ao utilizar hidrogel. Maiores médias do teor de cálcio com adição de hidrogel possivelmente sejam devido ao hidrogel reter o elemento de forma disponível para as plantas, facilitando sua absorção pelas raízes. Como citado por Navroski et al. (2015) que obtiveram aumento no conteúdo de cálcio em mudas *Eucalyptus dunnii* nos tratamentos com adição de hidrogel.

PREVEDELLO; BALENA (2000) afirmam que os hidrogéis são caracterizados pela capacidade de absorver e liberar água e nutrientes solúveis, dessa maneira o sódio poderia ser absorvido pelo material. Peterson (2003) comenta que em casos de excesso de sais e nutrientes no substrato, a adição do polímero pode ter pouca influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo até se tornar prejudicial. Rabat (2016) indica que o

hidrogel pode reter elementos, como o cálcio e sódio, sendo que este último pode-se tornar problemático em culturas sensíveis a salinidade como milho e feijão em condições semiáridas (FENG et al. 2017).

Os teores de potássio e cobre na matéria seca do sorgo apresentaram diferença significativa, porém essas variáveis tiveram seus valores reduzidos na presença de hidrogel, enquanto nas demais variáveis, não houve diferença significativa. Menores teores de potássio e cobre podem ser explicados pelo efeito de diluição por maior produção de matéria seca (MAIA et al. 2005). A falta de significância de magnésio, ferro, manganês e zinco sugere que esses elementos estavam disponíveis em quantidade suficiente no solo, sendo fornecidos pela água de irrigação e/ou pela adubação.

A água de irrigação de condutividade 2,96 dS/m (Tabela 6) aumentou de forma significativa a produção de matéria seca, altura de plantas, e os teores de cálcio na planta. E de maneira não significativa o número de folhas. Guimarães et al. (2019) trabalhando com a cultivar BRS Ponta Negra obteve bons resultados de produção de matéria seca com águas de elevada condutividade.

O maior acúmulo de matéria seca do sorgo pode estar relacionado a alta tolerância do sorgo a salinidade pois apresenta 100% do potencial de produção com água de irrigação de condutividade elétrica 4,5 ds/m (AYERS e WESTCOT, 1991) e a água salina utilizada apresentava altos teores de cálcio e magnésio, que podem ter influenciado de forma negativa a absorção de potássio (Tabela 2).

O teor de potássio foi maior nos tratamentos irrigados com água de menor salinidade (0,7 dS/m). Tal fato pode ser explicado pelos níveis de cálcio presentes na água de irrigação (Tabela 2). Fageria (2001) comenta sobre a competição entre cálcio e potássio devido às propriedades fisiológicas desses íons. Os teores de magnésio, sódio, cobre, ferro, manganês e zinco não apresentaram diferenças estatísticas aos níveis do fator irrigação, Tagliaferre et al. (2016) trabalhando com feijão caupi sob irrigação com água salina não obteve resultados significativos para os conteúdos de macronutrientes na água salina, porém ocorreu o contrário com os conteúdos de micronutrientes.

Em relação as fontes de cálcio (Tabela 6) não foram verificadas diferenças estatísticas entre a testemunha (sem cálcio) e os tratamentos que receberam 100% de cálcio na forma de calcário e gesso, em nenhuma das variáveis estudadas. Tal resultado pode ser

explicado pelo fato de ter sido utilizado solo de mata nativa que foi submetido a irrigação pela primeira vez associado a boa drenagem solo não havendo tempo suficiente para acúmulo de sais em quantidade prejudicial a cultura.

Por outro lado, no pivô 4 que apresenta problemas de salinidade e vem sendo cultivado por vários anos, irrigando-se no período seco com água salina, o acúmulo de sais pode-se dever a baixa quantidade de água aplicada, não havendo aplicação de lâmina de drenagem. Os tratamentos com calcário e gesso talvez não tenham sido significativos devido aos conteúdos de cálcio e magnésio terem sido supridos com a quantidade presente nas águas de irrigação e a reserva presente no solo, e os conteúdos adicionados com esses dois condicionadores não foram limitantes. Na figura 6 vemos as interações entre os fatores hidrogel e irrigação. Só foram apresentadas interações para três variáveis que foram MS, cálcio e sódio.

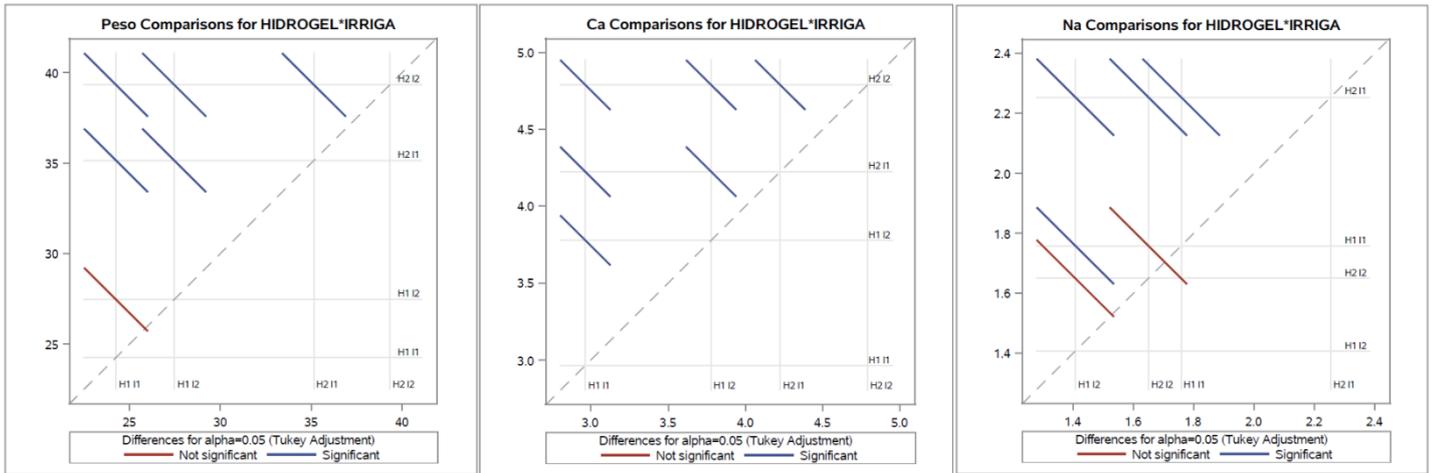
Tabela 6 - Valores das médias para os efeitos principais de tratamentos das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra

		-----Variáveis-----										
Fatores	Níveis	MS	ALT	NF	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		(g/vaso)	(cm)	(N°)	-----g/kg-----				-----mg/kg-----			
Hidrogel	0 g/kg	25,87b	76,30a	26,50b	3,37b	3,33a	32,00a	1,58b	7,53a	76,07a	54,20a	17,81a
	1 g/kg	37,23a	74,05a	32,06a	4,51a	3,55a	29,14b	1,95a	4,87b	77,72a	54,06a	20,62a
Água de irrigação	0,7 dS/m	29,70b	70,00b	30,56a	3,59b	3,43a	33,28a	2,01a	5,90a	73,85a	54,49a	21,41a
	2,96 dS/m	33,39a	80,35a	31,00a	4,28a	3,45a	27,85b	1,53b	6,32a	79,94a	53,77a	17,02a
Cálcio	0 – 0 %	32,19a	74,03a	30,63a	4,05a	3,47a	32,09a	1,87a	5,64a	80,25a	58,98a	21,50a
	0 – 100 %	30,69a	74,94a	30,25a	4,00a	3,34a	31,12a	1,71a	6,36a	76,07a	55,54a	18,26a
	50 – 50 %	30,51a	73,39a	30,44a	3,96a	3,39a	29,60a	1,68a	6,01a	79,35a	51,45a	20,06a
	100 – 0 %	32,79a	78,34a	31,81a	3,74a	3,55a	29,45a	1,80a	6,44a	71,92a	50,55a	17,05a
CV %		10,38	4,23	5,62	9,33	2,45	6,01	9,72	12,39	3,89	4,72	9,86

MS: matéria seca; Alt: Altura; NF: número de folhas; Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Fonte: Autor

Figura 6 - Interações entre os fatores hidrogel e irrigação para as variáveis matéria seca, cálcio e sódio durante o primeiro corte



Médias interceptadas por linhas vermelhas não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
 Fonte: Autor

Tabela 7 - Valores das médias para os tratamentos das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra

N° Tratamentos	Código	Variáveis											
		MS	ALT	NF	Teores de Nutrientes								
					Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
(g/vaso)	(cm)	(N°)	g/kg						mg/kg				
1	1 1 1	24,63 e	68,00 a	29,75 ab	2,74 g	3,40 a	36,29 a	1,90 abcd	5,94 abc	79,12 a	53,82 a	36,82 a	
2	1 1 2	24,73 e	72,62 a	27,50 b	3,00 fg	3,07 a	33,99 ab	1,56 cd	6,18 abc	65,58 a	50,35 a	25,97 a	
3	1 1 3	22,97 e	65,68 a	29,00 ab	2,82 g	3,17 a	34,13 ab	1,70 bcd	5,87 abc	81,26 a	47,74 a	12,22 a	
4	1 1 4	24,71 e	73,18 a	30,00 ab	3,27 efg	3,54 a	33,72 ab	1,86 abcd	8,59 a	46,59 a	47,72 a	19,34 a	
5	1 2 1	27,38 cde	83,50 a	30,00 ab	3,32 efg	3,32 a	29,67 abc	1,42 d	7,58 abc	86,20 a	63,25 a	11,20 a	
6	1 2 2	26,19 de	78,00 a	29,00 ab	3,91 cde	3,23 a	30,55 abc	1,38 d	8,04 ab	76,46 a	61,15 a	7,67 a	
7	1 2 3	27,05 cde	83,00 a	29,50 ab	3,83 def	3,27 a	29,22 abc	1,38 d	8,63 a	75,71 a	45,48 a	20,39 a	
8	1 2 4	29,23 bcde	86,37 a	31,25 ab	4,03 bcde	3,60 a	28,37 abc	1,44 d	7,98 ab	97,61 a	64,04 a	8,86 a	
9	2 1 1	36,45 abc	70,43 a	32,50 ab	3,98 cde	3,64 a	34,46 ab	2,49 a	4,51 abc	73,52 a	68,45 a	19,20 a	
10	2 1 2	34,61 abcd	71,68 a	32,00 ab	4,34 abcd	3,80 a	32,95 abc	2,27 ab	6,25 abc	63,40 a	54,33 a	20,29 a	
11	2 1 3	31,35 abcde	62,50 a	30,50 ab	4,21 abcd	3,48 a	30,90 abc	2,18 abc	4,28 bc	93,43 a	61,69 a	18,22 a	
12	2 1 4	38,15 ab	75,87 a	33,25 a	4,35 abcd	3,28 a	29,78 abc	2,04 abcd	5,53 abc	87,91 a	51,82 a	19,16 a	
13	2 2 1	40,31 a	74,18 a	30,25 ab	4,89 ab	3,48 a	27,92 abc	1,67 bcd	4,51 abc	82,13 a	50,39 a	18,75 a	
14	2 2 2	37,21 ab	77,43 a	32,50 ab	4,74 abc	3,25 a	26,99 bc	1,60 bcd	4,97 abc	98,82 a	56,33 a	19,08 a	
15	2 2 3	40,67 a	82,37 a	32,75 ab	4,96 a	3,64 a	24,13 c	1,45 d	5,24 abc	66,98 a	50,88 a	29,39 a	
16	2 2 4	39,06 a	77,39 a	32,75 ab	4,55 abcd	3,78 a	25,91 bc	1,85 abcd	3,62 c	55,55 a	38,58 a	20,80 a	
CV%		20,25	8,94	5,49	18,27	6,37	11,30	19,51	26,41	19,11	14,63	38,46	

MS: matéria seca; Alt: Altura; NF: número de folhas; Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Fonte: Autor

Quando estabelecidas as correlações entre as variáveis de forma individual (Tabela 8), verifica-se que as maiores correlações de matéria seca (MS) são com cálcio (valor $r = 0,9089$), número de folhas (NF) (valor $r = 0,8272$) e magnésio (valor $r = 0,5297$), respectivamente. Segundo Marschner et al. (2011) os níveis de cálcio podem atingir até acima de 10% de peso seco por exemplo, em folhas maduras, sem apresentar sintomas de toxicidade ou inibição do crescimento das plantas, o que se mostra compreensível pois o cálcio desempenha papel estrutural na planta (Borges et al. 2016). A alta correlação entre NF e MS provavelmente se deva a parte aérea ser composta boa parte por folhas. Cavalcante et al. (2018) trabalhando com sorgo do tipo biomassa obtiveram maior contribuição de MS da parte aérea com o colmo (77,8%), seguido de folhas (13,4%) e panículas (8,8%).

Magnésio foi apresentou a terceira maior relação com MS, essa relação entre MS e magnésio provavelmente se deva a esse elemento serem requeridos em grandes quantidades pelas plantas. Santi et al. (2006) ao estudar deficiência de macronutrientes em sorgo obteve a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes: $N > K > Ca > Mg > P > S$. Lima et al. (2018) cita que 6 a 25% do total de Magnésio nas plantas está ligado a clorofila, estando desse modo envolvido ativamente na fotossíntese.

Verifica-se também que altura (ALT) não apresentou relação com a variável MS, indicando que não apresenta tanta influência como as outras variáveis, e que maiores plantas não significam maior matéria seca, não sendo fator determinante para a produção. Silva et al. (2009) comenta que o tamanho das plantas é uma característica importante na seleção de cultivares, pois, plantas menores são normalmente associadas a maior resistência do colo, sendo menos suscetíveis ao acamamento e quebra das plantas.

Tabela 8 - Matriz de correlação das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo durante o primeiro corte

Matriz de Correlação (Valor R)											
	MS	ALT	NF	Ca	Mg	Na	K	Cu	Fe	Mn	Zn
MS	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT	0.1784	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NF	0.8272	0.2045	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0.9089	0.3181	0.7187	1.0000	-	-	-	-	-	-	-

Mg	0.5297	0.0659	0.6299	0.4768	1.0000	-	-	-	-	-	-
Na	0.2846	-0.6696	0.4178	0.0695	0.4719	1.0000	-	-	-	-	-
K	-0.6528	-0.6568	-0.4968	-0.7924	-0.2294	0.4511	1.0000	-	-	-	-
Cu	-0.6747	0.4456	-0.4817	-0.4528	-0.2910	-0.5111	0.2014	1.0000	-	-	-
Fe	0.0590	0.0715	0.0782	0.1413	-0.3629	-0.1604	-0.1780	-0.0941	1.0000	-	-
Mn	-0.0606	0.0008	0.0548	-0.0185	0.0041	0.1809	0.1948	0.0984	0.5428	1.0000	-
Zn	0.1531	-0.2643	0.0914	-0.0554	0.1301	0.2288	0.1538	-0.3413	-0.3248	-0.3618	1.0000

Fonte: Autor

A variável número de folhas de acordo com a matriz de correlação (Tabela 8) apresenta as maiores relações com MS (valor $r = 0,8272$), cálcio (valor $r = 0,7187$) e magnésio (valor $r = 0,6299$) respectivamente. As outras relações não foram suficientemente fortes pois apresentaram valores de R menores que 0,5. A máxima relação é 1 (positivo ou negativo) Cohen (1988) classifica valores acima de 0,5 como grandes. Esses resultados provavelmente se devam as funções que esses nutrientes apresentam na composição das folhas, o cálcio tem funções estruturais na planta, participando da composição da lamela média das células, já o magnésio está presente nas moléculas de clorofila (FERNANDES et al., 2018).

As maiores relações de cálcio (Tabela 8) foram com MS (valor de $r = 0,9089$), número de folhas (valor $r = 0,7187$) e magnésio (valor $r = 0,4768$) respectivamente. Embora cálcio e magnésio apresentem relação antagônica nas plantas (LIMA 2018) foi apresentada correlação positiva sugerindo que os níveis dos elementos estão adequados. A variável Magnésio segue a seguinte ordem de correlação NF (valor $r = 0,6299$), MS (valor $r = 0,5297$), cálcio (valor $r = 0,4768$), sódio (valor $r = 0,4719$).

Esse comportamento se justifica devido ao magnésio fazer parte da clorofila presente nas folhas. E também pelo número de folhas estar diretamente relacionado com a produção de matéria seca, e esta última com a extração de nutrientes e outros elementos como o sódio pelas plantas Lima et al. (2018) cita que 6 a 25% do total de Magnésio nas plantas está ligado a clorofila, estando desse modo envolvido ativamente na fotossíntese.

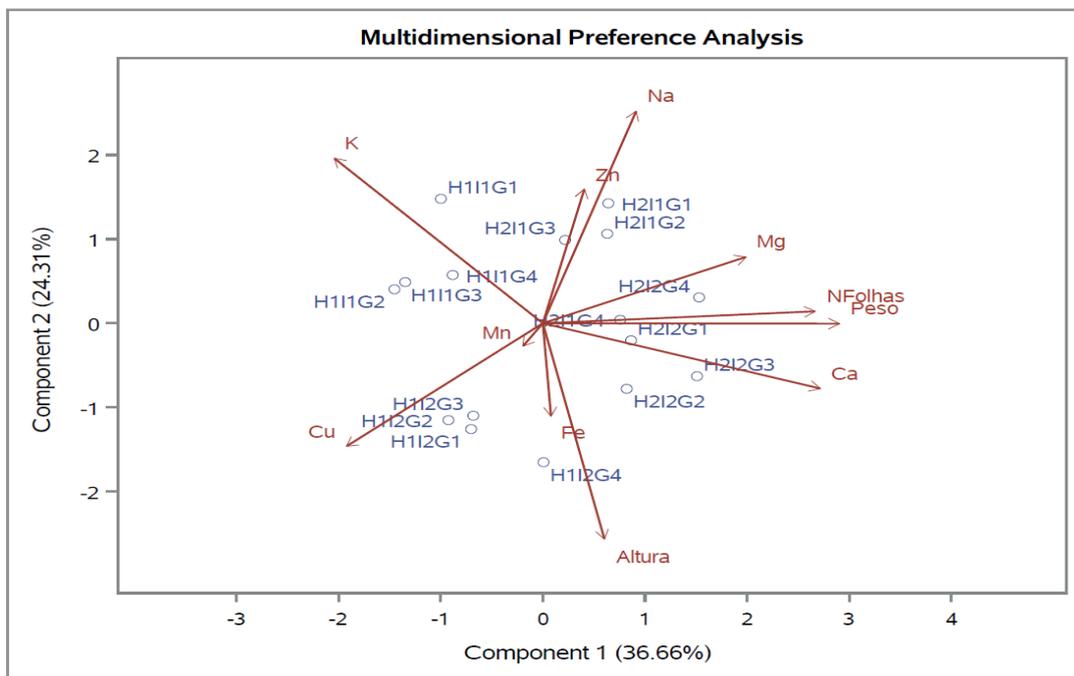
O teor de potássio na matéria seca só teve relação significativa com o teor de sódio, os dois elementos apresentam relação, o sódio pode substituir o potássio parcialmente atuando na ativação de enzimas (INOCENCIO, 2014). A variável sódio apresentou as maiores relações

com magnésio (valor r 0,4719), número de folhas (valor r – 0,4178) e potássio (valor r – 0,4511).

A variável cobre só teve relação significativa com a variável altura. A variável Ferro só teve relação significativa com a variável manganês, e o contrário também aconteceu, com manganês apresentando relação apenas com ferro. A variável zinco não apresentou relação com nenhuma outra variável.

A principal utilidade da análise de componentes principais (ACP) (Figura 7) é reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, retendo tanta informação quanto possível num menor número de componentes principais. Assim, o primeiro componente principal (CP) é a combinação das variáveis que explica a maior proporção da variação total dos dados. O segundo CP define a maior variação seguinte e assim sucessivamente (SILVA e SBRISIA, 2010).

Figura 7 - Gráfico biplot mostrando a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos tratamentos no primeiro corte.



Fonte: Autor

Quando os dados foram submetidos a análise multivariada, que utiliza dados transformados para dar igual peso a todas as variáveis e as agrupa em componentes principais (GOTELLI, 2011) onde as variáveis apresentam valores adimensionais, verificou-se que os

tratamentos com hidrogel (Figura 7) apresentaram valores positivos em relação ao componente principal 1 (eixo x), situando-se do lado direito do gráfico. O mesmo aconteceu com as variáveis MS, NF e cálcio, evidenciando sua relação e reforçando os resultados contidos na Tabela 6.

No gráfico biplot as setas representam as variáveis, já os pontos representam os tratamentos, a proximidade entre as setas indica a correlação entre as variáveis, quanto maior aproximação maior correlação (Gareth et al., 2013; SILVA e BENIN, 2012) A matéria seca e número de folhas apresentam maior proximidade, bem como cálcio e magnésio, notando-se um agrupamento entre as quatro variáveis, resultados semelhantes estão apresentados na Tabela 8.

As variáveis Cálcio e Potássio se mostraram independentes, da mesma maneira que cobre e magnésio. Marschner et al. (2011) citam que quando o suprimento de cálcio aumenta, o excesso é geralmente acumulado no vacúolo; e que existem três tipos distintos de fisiologia para a nutrição do Cálcio: plantas 'calciotróficas', 'plantas oxaladas' e 'plantas potássicas', que mostram respostas contrastantes ao fornecimento de Ca.

O cálcio desempenha importantes funções estruturais nas plantas constituindo a lamela média das paredes celulares sendo requerido em grandes quantidades (TAIZ et al. 2017), sendo corroborado por Pitta et al. (2001) que estudaram a extração de nutrientes por plantas de sorgo e verificaram que a ordem de extração foi N, K, Ca, Mg e P. Von Pinho et al. (2009) comentam que conhecer as quantidades e épocas mais adequadas de fornecimento de nutrientes é fundamental para aumento de produtividade e eficiência de insumos.

Ferro e altura assim como zinco e sódio apresentaram relação entre si, mas muito baixa em relação a número de folhas e matéria seca. Por outro lado, as variáveis potássio, cobre e manganês juntamente com a média dos tratamentos sem adição de hidrogel apresentaram valores negativos para o CP 1 que reúne 36,66% da variância total dos dados.

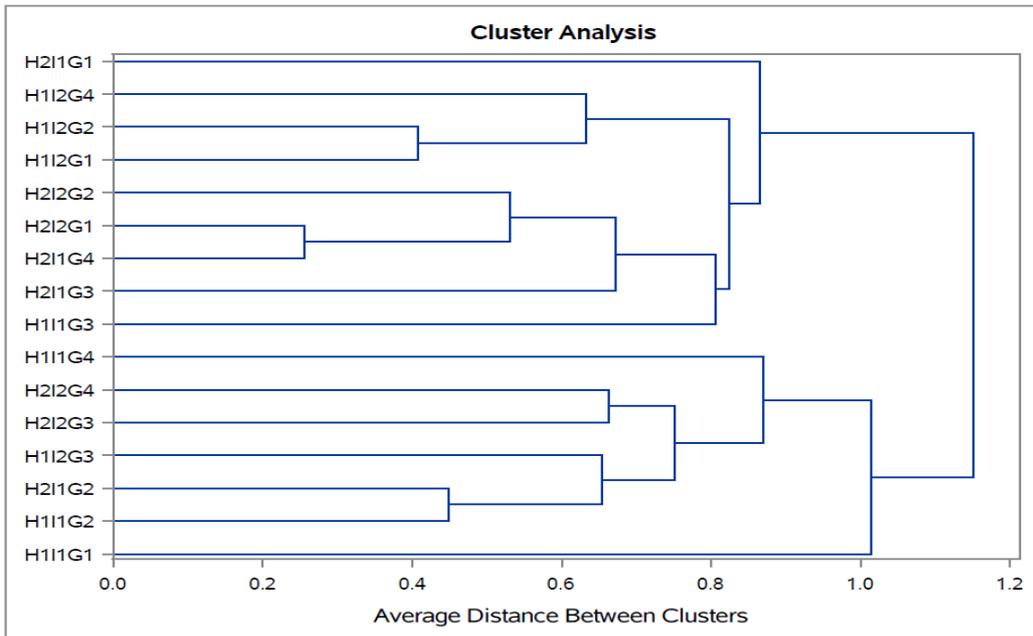
O CP 2 que reúne 24,31% dos dados apresenta valores negativos para as variáveis cobre, manganês, ferro, altura e cálcio. E para as médias de alguns tratamentos com e sem hidrogel. O comportamento em relação aos teores de elementos também pode ser justificado por efeito de diluição por maior produção de matéria seca.

Os dois primeiros CP's explicam 60,97% (soma da variância de CP1 e CP2) da variância total dos resultados obtidos no experimento. De acordo com Joliffe (1986)

componentes principais que expliquem 60% da variação dos dados podem ser utilizados sem necessidade de análise dos demais componentes principais.

Na análise multivariada de agrupamentos (clusters) representada na Figura 8, através de ligações entre tratamentos comumente utilizado mostram-se dois grupos de tratamentos que se assemelham, entretanto, sua interpretação é complexa e pouco acrescenta em relação a análise de componentes principais.

Figura 8 - Análise de agrupamentos (clusters) para os tratamentos utilizados durante o primeiro corte



Fonte: Autor

4.2 Segundo corte

De acordo com a matriz de correlação (Tabela 10) na fase de rebrote as variáveis que mais se aproximaram foram peso e altura, com número de folhas destoando destas. Tal resultado talvez se deva ao tempo em que as plantas ficaram nos vasos (30 dias), não sendo suficiente para as folhas adquirirem massa seca suficiente para essa variável se aproximar da variável peso. Tais resultados se aproximam aos de Terra et al. (2010) que trabalhando com plantio de sorgo em diferentes densidades observou que o máximo acúmulo de matéria seca se deu entre 70 e 80 dias após a emergência.

Tabela 9 - Matriz de correlação das variáveis analisadas no experimento com Sorgo Forrageiro cv. BRS Ponta Negra em Argissolo Amarelo durante o segundo corte

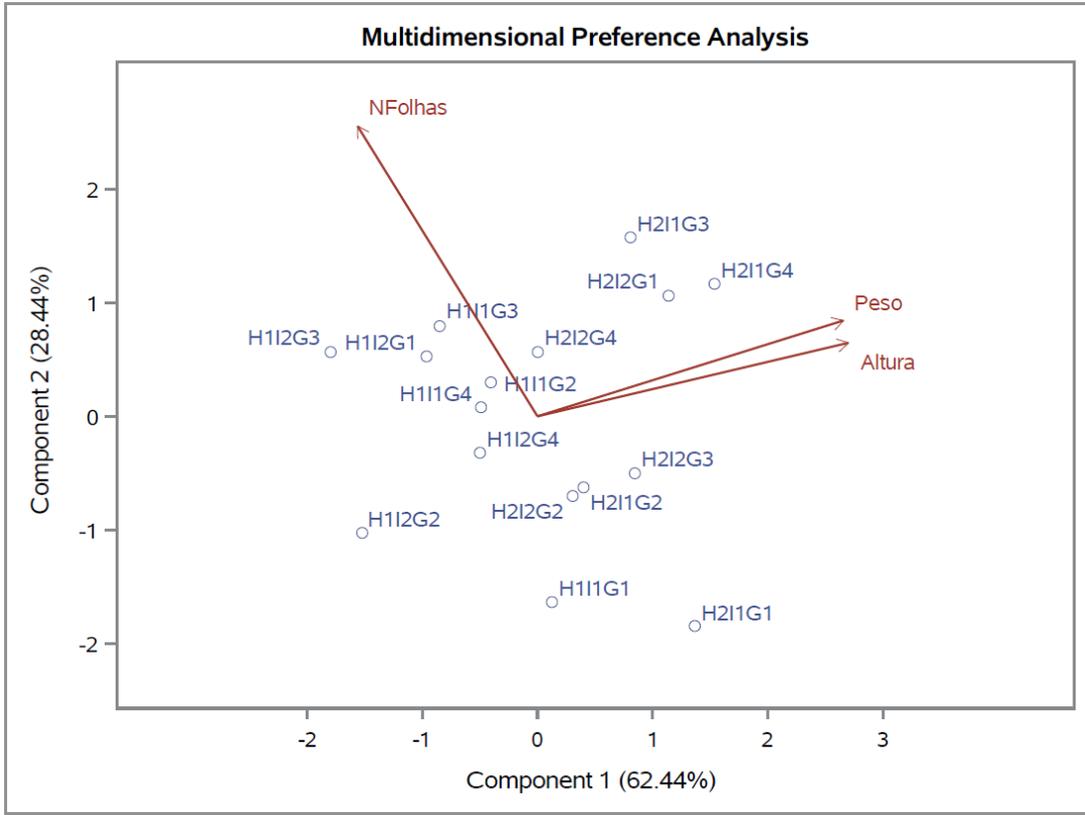
	Matriz de Correlação (Valor R)		
	Peso	Altura	Nº Folhas
Peso	1.0000	-	-
Altura	0.7249	1.0000	-
Nº Folhas	-.2320	-.2765	1.0000

Fonte: Autor

No gráfico biplot (Figura 9) para as variáveis analisadas no rebrote das plantas os dois primeiros CP's explicam 90,88% da variância total dos dados. Nota-se que os tratamentos com adição de hidrogel apresentaram valores positivos em relação ao CP1, e todos os tratamentos sem adição de hidrogel apresentaram valores negativos em relação ao CP1. O mesmo aconteceu com as variáveis MS e ALT, que foram positivas em relação CP1, NF mostrou resultado contrário, apresentando valores negativos em relação a CP1.

Assim como no primeiro corte os tratamentos com adição de hidrogel se aproximaram da variável MS. Navroski et al. (2016) ao trabalhar com hidrogel na produção de mudas de eucalipto, notaram aumento na massa seca da parte aérea, radicular e total nos tratamentos onde o polímero foi aplicado. Silva et al. (2019) trabalhando com produção de alface em ambiente protegido obtiveram um aumento de 35,23% de ganho de massa fresca em relação a testemunha.

Figura 9 - Gráfico biplot mostrando a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos tratamentos no segundo corte.



Fonte: Autor

A matriz de correlação (Tabela 8) reforça os resultados expostos no gráfico biplot (Figura 8), onde pode-se observar a proximidade entre as variáveis peso e altura. Tanto no primeiro corte, como no rebrote os tratamentos que mais se aproximaram da variável peso foram aqueles com adição de hidrogel, demonstrando a relação da adição do polímero no aumento de massa seca, seja pelo acúmulo e liberação de água às plantas, seja por retenção de nutrientes como citado por Navroski et al. (2016) onde os autores comentam que os hidrogéis liberam água e nutrientes paulatinamente as plantas.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de hidrogel na quantidade de 1g/kg de solo em Argissolo amarelo de textura arenosa aumenta a produção de matéria seca do Sorgo forrageiro cv. BRS Ponta Negra. O hidrogel foi significativo como fator isolado e em combinação com água de irrigação.

A água de condutividade elétrica de 2,96 dS/m aumentou a produção de matéria seca do Sorgo forrageiro cv. BRS Ponta Negra em relação a água de condutividade elétrica de 0,7 dS/m.

A aplicação de calcário e gesso isolado e em combinação em quantidade necessária para suprir a deficiência de cálcio não influenciou no ganho de matéria seca.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. 2a. ed. Brasília: ANA, 2019.
- AGUILAR, R. L. *et al.* Uso de yeso para una agricultura orgánica sustentable en zonas áridas y semiáridas. **Interciencia**, Caracas, v. 37, n. 8, p. 594-601, 2012.
- AKHTER J. *et al.* Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. **Plant Soil and Environment**, República Tcheca, s. v., s. n., p. 463-469, 2004.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- AMARAL, A.S. do.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- ANJOS, J.L. dos. *et al.* Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1138-1142, 2011.
- AQUINO, A.B. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.
- ARENDRT, E.K., ZANNINI, E. Sorghum. *In*: ARENDRT, E. K.; ZANNINI, E. (ed.). **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. Sawston, Reino Unido: Woodhead Publishing, 2013.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno: Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BARROS, A. F. de. **Avaliação da aplicação de polímero superabsorvente em sementes e no sulco de plantio na cultura do sorgo**. 2016. 44f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- BASSO, F. C. *et al.* Relações entre produtividade de sorgo forrageiro e atributos físicos e teor de matéria orgânica de um latossolo do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 135-144, 2011.
- BJORNEBERG, D. L.; SOJKA, R. E. Irrigation: methods. *In*: HILLEL, D. **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005.
- BJORNEBERG, D. L. Irrigation: methods. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, Elsevier, 2013.

- BORGES, I. D. *et al.* Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 15, n. 2, 2016.
- BORTOLUZZI, E. C. *et al.* Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, s. n., p. 2621-2628, 2008.
- BOWMAN, D. C.; EVANS, R. Y. Calcium Inhibition of Polyacrylamide Gel Hydration is Partially Reversible by Potassium. **Hortscience**, s. l., v. 26, n. 8, p.1063-1065,1991.
- CARVALHO, M. da C. S.; NASCENTE, A. S. Calcário, fosfogesso e doses de fertilizantes afetando a fertilidade do solo e o desenvolvimento do feijoeiro-comum em sistema de plantio direto em um Latossolo do Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 40, n. 1, p. e39322, mai./ 2018.
- CAVALCANTE, T. J. *et al.* Macro and micronutrients uptake in biomass sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 4, p. 364-373, 2018.
- CHEN, S. L. *et al.* Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in *Populus euphratica* under saline conditions. **Trees**, s.l., v.18, p.175-183, 2004.
- CIOTTA, M. N. *et al.* Manejo da calagem e os componentes da acidez de latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 317-326, 2004.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1988.
- CONAB. Histórico mensal sorgo. **Companhia Nacional de abastecimento**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-sorgo>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- CORDEIRO, G. G. Salinidade e sodicidade dos solos agrícolas. **II Curso sobre manejo de solo e água em propriedades agrícolas do tropico semi-árido**, Petrolina, 1983.
- COSENTINO, S. L. *et al.* Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* moench (L.)) cv. Keller under semi-arid conditions. **Industrial Crops and Products**, s.l., v. 36, n. 1, p. 329-342, 2012.
- DIAS, N. da S. *et al.* 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.
- FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, s.l., v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.
- FENG, G. *et al.* Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system. **Agricultural Water Management**, s.l., v. 193, p. 205-213, 2017.
- FERNANDES, M. S. *et al.* **Nutrição mineral de plantas**. 2ª. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018

FILHO, A. N. T. *et al.* Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 247-252, 2012.

FILHO, J. E. R.V.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, 2016.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 119-127, 1998.

FUNDAÇÃO CEARENSE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (garehoME). **Ceará em Mapas**, Fortaleza, s. d. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 15 jul. 2019.

GARETH, J. *et al.* **An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R**. New York: Springer, 2013.

GHEYI, H. R. *et al.* **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2a.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

GOTELLI, N. J., ELLISON, A. M. **Princípios de Estatística Em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2011. 528p.

GUIMARÃES, I. P. *et al.* Efeito da salinidade da água de irrigação na emergência e crescimento inicial de plântulas de mulungu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2013.

GUIMARÃES, M. J. M. *et al.* Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.

GUIMARÃES, M. J. M. *et al.* Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019.

HOLANDA, F. S. R. *et al.* Recuperação de áreas com problemas de salinização. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 57-61, 2001.

HOLANDA, A. C. *et al.* Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 7, n. 1, 2007.

HUANG, R. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, s. l., v.17, n. 4, p. 739-746, 2018.

INÁCIO, D. F. S. *et al.* Effect of Supplementation of Sorghum Silage in Weanling Fillies During the Dry Period in Brazil. **Journal of Equine Veterinary Science**, s.l., v. 68, p. 88-93, 2018.

INOCENCIO, M. F; CARVALHO, J. G. de.; FURTINI NETO, A. E. Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 113-123, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Ceará em Mapas**, Fortaleza, s. d. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 13 jul. 2019.

INSTITUTO DA POTASSA E FOSFATO. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2ª. ed. Piracicaba: Potafos, 1998.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. New York: Springer-Verlag, 1986. 271p.

KOTHARI, K. *et al.* Simulation of efficient irrigation management strategies for grain sorghum production over different climate variability classes. **Agricultural Systems**, *s.l.*, v. 170, p. 49-62, 2019.

KUNTZE, R. A. **Gypsum: Connecting Science and Technology**. Newburyport: ASTM International, 2009.

KURAI, T. *et al.* Efficient rates of nitrogenous fertiliser for irrigated sweet sorghum cultivation during the post-rainy season in the semi-arid tropics. **European Journal of Agronomy**, *s.l.*, v. 71, p. 63-72, 2015.

LIMA, E; CICARONE, F.; VITTI, G. C. Cálcio, Magnésio e Enxofre. *In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Nutrição mineral de plantas*. Edição de Manlio Silvestre Fernandes. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2018.

LIETH, J. H.; OKI, L. R. 4 - Irrigation in soilless production. *In: LIETH, J. H.; RAVIV, M. (ed.). Soilless Culture*, *s.l.*, Elsevier Science, 2008.

LOPES, V. V.; SCHENEIDER, V. V. A. A racionalização do uso da água, através da utilização de hidrogel, na cultura de bucha vegetal (*luffa cylindrica*). **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Curitiba, Paraná, v. 1, n. 9, 2014.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, *s.l.*, v. 103, n. 2, p. 115-134, 1977.

MAIA, C. E. *et al.* Teores de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, s. n., p. 292-295, 2005. (Suplemento).

MARSCHNER, H. (ed.). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3a. ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Academic Press, 2011. 684p.

MARQUELLI, W. A. *et al.* Manejo da água de irrigação. *In: SOUSA, V. F. de. et al. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

- MELO, R. M. *et al.* Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 376-380, 2008.
- MENDES, A. A. T. Irrigação: tecnologia e produtividade. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA IRRIGADA, 1998. **Anais [...]**. Jales, SP: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 1998.
- MONTESANO, F. F. *et al.* Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Patras, Grécia, v. 4, p. 451-458, 2015.
- MONTHÉ, O. C. *et al.* Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours. **LWT. Food Science and Technology**, *s. l.*, v. 101, p. 575-582, 2019.
- MUGUIRO, A. *et al.* Rehabilitación de suelos hortícolas: impacto de prácticas agrícolas con uso de yeso y drenaje. **FAVE - Ciencias Agrarias**, Santa Fé, 16, n. 2, 2017.
- NAVROSKI, M. C. *et al.* Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 315-328, 2015.
- NAVROSKI, M. C., *et al.* Redução da adubação e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1155-1165, 2016.
- PARAHYBA, R. E. Calcário Agrícola. *In*: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Economia Mineral do Brasil**. Brasília, DF: DNPM, 2009.
- PATERSON, A.H. Genomics of sorghum. **International Journal of Plant Genomics**, *s. l.*, p. 362-451, 2008.
- PREVEDELLO, C. L.; BALENA, S. P. Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 251-258, 2000.
- PITTA, G. V. E.; VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C. Fertilidade do solo e nutrição mineral do sorgo forrageiro. *In*: CRUZ, J. C. *et al.* (ed.). **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p. 243-262.
- PEDROTTI, A. *et al.* Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.
- PETERSON, D. Hydrophilic polymers: effects and uses in the landscape. **Soviet Soil Science**, Moscow, v. 13, n. 4, p. 111-115, 2003.
- PINHO, R. G. V., *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, *s. l.*, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

- PLA SENTÍS, I. Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. **International Soil and Water Conservation Research**, *s. l.*, v. 2, n. 4, p. 50-63, 2014.
- PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.
- QADIR, M. *et al.* Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. **Agricultural Water Management**, *s. l.*, v. 50, n. 3, p.197-210, 2001.
- RABAT. N. E. *et al.* Effect of Different Monomers on Water Retention Properties of Slow Release Fertilizer Hydrogel. **Procedia Engineering**, *s. l.*, v. 148, p. 201-207, 2016.
- RAI, R. K. *et al.* Environmental Aspects of Irrigation Projects. *In: RAI, R. K. et al. (ed.). Planning and Evaluation of Irrigation Projects*, *s. l.*, Elsevier Academic Press, 2017.
- RAO, S. *et al.* Characterization of phenolic compounds and antioxidant activity in sorghum grains. **Journal of Cereal Science**, *s. l.*, v. 84, p. 103-11, 2018.
- REDDY, P. S.; REDDY, B. V. S. History of Sorghum Improvement. *In: Aruna, C. et al. Breeding sorghum for diverse end uses*. *S. l.*: Woodhead Publishing, 2019. p. 61-75.
- RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, *s.l.*, v. 57, n. 5, p. 1017-1023, 2006.
- ROONEY, L.W. *et al.* Sorghum. **Reference Module in Food Science**, *s.l.*, Elsevier Academic Press, 2016.
- SAADAT, S.; HOMAEE, M. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. **Agricultural Water Management**, *s.l.*, v. 152, p. 119-124, 2015.
- SALAZAR, C. R. Solos Salinos: diagnóstico e recuperação. **II Curso sobre métodos de pesquisa ao nível do produtor**. Petrolina, PE: Embrapa, 1983.
- SANTI, Adalberto *et al.* Deficiências de macronutrientes em sorgo. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006.
- SANTOS, D. dos S. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7ª. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, P. M. dos *et al.* Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 95-103, 2014.
- SILVA, A. G. da *et al.* Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 168-174, 2009.

SILVA, C. M. M. de S.; VIEIRA, R. F.; OLIVEIRA, P. R. Salinidade, sodicidade e propriedades microbiológicas de Argissolo cultivado com erva-sal e irrigado com rejeito salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 10, p. 1389-1396, out./2008.

SILVA, F. C. da (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, R. R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.

SILVA, S. C. da; SBRISSIA, A. F. Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.3, p. 690-693, 2010.

SILVA, W. R. da *et al.* Irrigation levels and use of hydro retainer polymer in greenhouse lettuce production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 6, p. 406-412, 2019.

SINGH, Y. P. *et al.* Productivity of sodic soils can be enhanced through the use of salt tolerant rice varieties and proper agronomic practices. **Field Crops Research**, *s. l.*, v. 190, p. 82-90, 2016.

SOBRAL, L. F. *et al.* Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, *s. n.*, p. 836-839, 2009. (Suplemento).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10ª. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SPARKS, D. L. The Chemistry of Saline and Sodic Soils. 2a. ed. *In*: SPARKS, D. L. (ed.). **Environmental Soil Chemistry**, *s.l.*, Elsevier Academic Press, 2003.

TAGLIAFERRE, C. *et al.* Absorption of nutrients by cowpea irrigated with saline water under different leaching fractions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 12, p. 1067-1071, 2016.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANG, C. *et al.* Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. **Field Crops Research**, *s. l.*, v. 215, p. 12-22, 2018.

TAYLOR, J. R. N. Sorghum and millets: taxonomy, history, distribution, and production. *In*: TAYLOR, J. R. N.; DUODU, K. G. (ed.). **Sorghum and millets: chemistry, technology, and nutritional attributes**. 2a. ed. *S. l.*: Woodland Publishing, 2019.

TERRA, T. G. R. *et al.* Desenvolvimento e produtividade de sorgo em função de diferentes densidades de plantas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 26, n. 2, 2010.

TRANI, P. E. *et al.* Calagem em cultivos sucessivos de cenoura e alface. **Horticultura Brasileira**. Vitoria da Conquista, BA, v. 24, n. 1, p. 59-64, 2006.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M. *et al.* Soil chemical aspects of water management: modeling topsoil water, salt and sodicity dynamics. **Procedia Environmental Sciences**, *s. l.*, v. 19, p. 654-662, 2013.

VITTI, G. C. *et al.* **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

VON PINHO, R. G. *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

VON PINHO, R. G. *et al.* Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.

VUNDAVALLI, R. *et al.* Biodegradable nano-hydrogels in agricultural farming -alternative source for water resources. **Procedia Materials Science**, *s. l.*, v. 10, p. 548-554, 2015.

ZOHURIAAN-MEHR, M. J.; KABIRI, K. Superabsorbent polymer materials: a review. **Iranian Polymer Journal**, *s. l.*, v. 17, n. 6, p. 451-47, 2008.