



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**

WEVERTON DE ARAUJO CRISPIM

**HIDROGEL COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DE
LEGUMINOSAS NO SEMIÁRIDO**

FORTALEZA

2019

WEVERTON DE ARAUJO CRISPIM

**HIDROGEL COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DE
LEGUMINOSAS NO SEMIÁRIDO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2019

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)

- C949h Crispim, Weverton de Araujo.
Hidrogel como alternativa para o desenvolvimento de leguminosas no semiárido. / Weverton de Araujo Crispim. – 2019.
39 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.
1. Fabaceae. 2. Caatinga. 3. Recuperação de áreas degradadas. I. Título.

CDD 630

WEVERTON DE ARAUJO CRISPIM

**HIDROGEL COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DE
LEGUMINOSAS NO SEMIÁRIDO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 19/06/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M. Sc. Carla Danielle Vasconcelos do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Agr. André Luis da Silva Parente
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico à minha família, em especial a minha avó Raimunda Crispim, pelo cuidado, amor e paciência.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de formação.

À Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, pela paciência e grande ajuda.

Ao Laboratório de Sementes e ao Banco de Germoplasma de Feijão-Caupi, especialmente ao Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho e à Ana Kelly da Silva, pelo espaço, materiais e informações cedidos.

Aos colegas do Laboratório de Manejo do Solo pelos ensinamentos, principalmente a Deyse de Sousa Maia, pela paciência e contribuição fundamental para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora Carla Danielle do Nascimento pelas valiosas colaborações e sugestões e ao André Luis Nogueira pelo tempo e pela grande contribuição para o desenvolvimento do trabalho como um todo.

E finalmente, a todos os colegas e amigos que contribuíram nas mais diversas formas para a minha formação e para realização deste trabalho, em especial aos amigos Daniele Oliveira e Juliette Freitas pelo apoio em diversos âmbitos, Tom Jones pelo suporte físico e emocional e “Lero” Coutinho pelo exemplo de ser humano que foi. Muito obrigado.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido para avaliar o desenvolvimento inicial de três espécies de leguminosas herbáceas com aplicação de polímero superabsorvente, mediante estresse hídrico visando verificar qual se desenvolveria mais com o polímero para uso como adubo verde na recuperação de áreas degradadas no semiárido. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da UFC, localizada no Campus do Pici, Fortaleza - CE. Foi utilizado um Planossolo Háplico originário do município de Pentecoste - CE. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial 3x2, sendo o primeiro fator de tratamento três espécies de leguminosas e o segundo fator de tratamentos com e sem o uso do hidrogel. As espécies utilizadas foram: feijão caupi (*Vigna unguiculata*), feijão mungu (*Vigna radiata*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). O hidrogel utilizado foi um copolímero de poliacrilato de potássio poliacrilamida. Foram feitas medidas de altura e diâmetro do caule aos 10 e 30 dias após emergência (DAE). Ao fim do experimento(30 DAE) foram feitas avaliações de massa seca da parte aérea e da raiz., número e massa dos nódulos, relação parte aérea/raiz, além de avaliações dos teores de carbono e nitrogênio no solo e acúmulo dos mesmos nas raízes e na parte aérea das plantas. A espécie *C. Ensiformis* se mostrou superior em altura, diâmetro do caule aos 10DAE e também apresentou maior massa seca da parte aérea(MSPA), massa seca da raiz(MSR), maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea(ANPA), acúmulo de carbono na parte aérea(ACPA) e na raiz(ACNR). A mesma espécie não diferiu significativamente da *Vigna Unguiculata* nas variáveis diâmetro do caule aos 30DAE e acúmulo de nitrogênio nas raízes(ANR), apresentando médias superiores às obtidas para *Vigna radiata*. A utilização do hidrogel melhorou os atributos: diâmetro do caule aos 30DAE, MSR, relação raiz/parte aérea (R/PA), massa de nódulos(MNod), acúmulo de N nas raízes(ANR), ACPA e ACR, confirmando sua capacidade de viabilizar o desenvolvimento vegetal sob déficit hídrico. O teor de carbono no solo do tratamento com hidrogel foi inferior à testemunha, sugerindo uma influência importante do polímero na microbiota e na decomposição da matéria orgânica do solo. As espécies *Canavalia ensiformis* e *Vigna unguiculata* se mostraram mais aptas a utilização como recuperadores de solos degradados por apresentarem, respectivamente, maior produção de biomassa e maior massa de nódulos, este último, um indício de FBN mais eficiente.

Palavras-chave: Fabaceae. Caatinga. Recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

The present study was developed to evaluate to the initial development of three species of leguminous plant with application of hydrogel, through hydric stress. This was to verify which leguminous plants would be more suitable for use as green manure in the recovery of degraded areas in the semiarid region. The experiment was carried out in a greenhouse at the Agricultural Science Center of the Federal University of Ceará, located at the Pici Campus, Fortaleza-CE. A soil (Planossolo Háptico) originated in the region of Pentecoste-CE was used. The experimental design was completely randomized, in factorial 3x2, being 3 species and 2 treatments with and without the use of the hydrogel. Three different species of beans were used: *Vigna unguiculata*, *Vigna radiata* and *Canavalia ensiformis*. The hydrogel used was the potassium polyacrylate polyacrilamide co-polymer. Measurements were performed concerning plant height and stem diameter on the 10th and the 30th day. At the end of the experiment measurements were concerning dry mass of the aerial part and the roots, number and mass of nodule, root/shoot ration and evaluation of nitrogen and carbon contents in the soil and both in the plant roots and aerial parts. The species *C. ensiformis* was superior in height and stem diameter at the 10th day and also presented higher dry mass of the aerial part, dry mass of the root, great accumulation of nitrogen in the aerial part, accumulation of carbon both in the aerial part and in the roots. At the 30th day, this species did not differ significantly from *Vigna unguiculata* in the variables stem diameter and nitrogen accumulation in the roots, it presented higher mean values than those obtained by *Vigna radiata*. The use of hydrogel in all the three beans improved the attributes: stem diameter at 30th day, root dry mass, root/shoot ratio, nodule mass, root nitrogen accumulation, carbon accumulation both in the root and the shoot. These values confirmed the hydrogel capacity to enable plant development under water deficit. The soil carbon content of the hydrogel treatment was lower than the control, suggesting a significant influence on the microbiota and soil organic matter decomposition. Both species *Canavalia ensiformis* and *Vigna unguiculata* were more suitable for use as recuperators of degraded soils because they presented, respectively, as higher biomass production and a higher mass of nodules, the latter a more efficient biological nitrogen fixation.

Keywords: Fabaceae. Caatinga. Recovery of degraded areas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características químicas do solo utilizado.....	22
Tabela 2	– Atributos físicos do solo utilizado.....	22
Tabela 3	– Médias das variáveis de crescimento (altura e diâmetro) aos 10 e 30 dias após emergência (DAE) para cada espécie de leguminosa avaliada	25
Tabela 4	– Médias das variáveis de crescimento (altura e diâmetro) aos 10 e 30DAE para os tratamentos com e sem hidrogel	26
Tabela 5	– Atributos relacionados à parte aérea e às raízes das espécies avaliadas	27
Tabela 6	– Atributos relacionados à parte aérea e às raízes das plantas em resposta aos tratamentos com e sem hidrogel.....	28
Tabela 7	– Teores de carbono e nitrogênio total no solo após a retirada das leguminosas avaliadas no experimento	30
Tabela 8	– Teores de carbono e nitrogênio total no solo para os tratamentos com e sem hidrogel.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Classificação textural do solo.....	23
Figura 2	– Sistema radicular de feijão caupi(<i>Vigna unguiculata</i>) sem a aplicação de hidrogel(A) e com aplicação de hidrogel (B).....	29
Figura 3	–Sistema radicular de feijão mungu(<i>Vigna radiata</i>) sem a aplicação de hidrogel(A) e com aplicação de hidrogel (B).....	29
Figura 4	– Sistema radicular de feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformis</i>) sem(A) e com aplicação de hidrogel (B), e detalhe do grupamento de nódulos (C).....	30

LISTA DE SÍMBOLOS

- © Copyright
- ® Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Uso e degradação dos solos do semiárido	15
2.2	Potencial de leguminosas em sistemas de produção agrícola no semiárido..	16
2.3	Leguminosa sob déficit hídrico	17
2.4	Uso de polímeros superabsorventes para viabilizar o desenvolvimento vegetal mediante déficit hídrico	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Local de instalação do experimento e tipo de solo	21
3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	23
3.3	Instalação e condução do experimento	23
3.4	Avaliações	24
3.4.1	<i>Análises de crescimento vegetativo</i>	24
3.4.2	<i>Análises químicas do material vegetal</i>	24
3.4.3	<i>Análises químicas do solo</i>	25
3.4.4	<i>Análise estatística</i>	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O semiárido é caracterizado por ser uma região de grande fragilidade à degradação e de limitações ao seu uso por diversas questões, mesmo sendo uma região de biomas de grande riqueza e diversidade. Essa região tem sofrido durante décadas com o manejo inadequado de seus recursos e políticas públicas que não dão condições de melhorias a longo prazo contribuindo com graves processos de degradação como o aumento das áreas que já estão ou que caminham para a desertificação.

Uma das limitações que encontramos ao se trabalhar com o semiárido é o déficit hídrico causado por baixos índices pluviométricos, aliados a grande variabilidade espacial e temporal, além de alta evapotranspiração e características do solo que diminuem a capacidade de retenção hídrica dos mesmos. Com isso, muitas vezes, se torna necessário o uso da irrigação que também, se mal manejada, pode causar problemas à dinâmica do solo.

Para a recuperação dos solos degradados, o uso de leguminosas é uma alternativa para o aporte nitrogênio e matéria orgânica. Além disso, o plantio de leguminosas protege os solos contra os efeitos erosivos que estes poderiam sofrer se estivessem desprotegidos, tanto no período entre cultivos quanto por estarem demasiadamente degradados para a manutenção da vegetação espontânea.

Para viabilizar o desenvolvimento de leguminosas sem a necessidade de irrigação, os polímeros superabsorventes (hidrogéis) são promissores. Esses polímeros são condicionadores do solo que atuam na melhoria da retenção hídrica, além de reter determinados nutrientes que podem ser utilizados pelas plantas. Assim, os hidrogéis podem auxiliar o estabelecimento de leguminosas para a recuperação de solos do semiárido que, em geral, tem problemas com a retenção de água. Nesse contexto, os polímeros podem ser aliados nos programas de recuperação de solos degradados do semiárido.

Entretanto, ainda não se sabe quais leguminosas com potencial de uso em regiões semiáridas respondem melhor à aplicação de hidrogel e como esses polímeros influenciam o sistema solo-planta mediante déficit hídrico.

O presente trabalho foi desenvolvido para testar a hipótese de que há uma espécie de leguminosa que apresenta melhor desenvolvimento inicial mediante aplicação de hidrogel. O objetivo geral foi avaliar três leguminosas com e sem a aplicação do hidrogel. Os objetivos específicos foram medir o crescimento e acúmulo de biomassa das leguminosas, avaliar a nodulação e avaliar atributos químicos do solo e das plantas após a aplicação dos tratamentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso e degradação dos solos do semiárido

Segundo a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), o semiárido engloba 1.262 municípios brasileiros que tem como características, clima árido, com índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e índices de chuvas inferiores aos de evapotranspiração, causando assim um deficit hídrico diário igual ou superior a 60% (SUDENE, 2019).

Mesmo o semiárido brasileiro sendo um dos mais úmidos do mundo, com médias de chuvas entre 200 e 800 mm ao ano, o deficit hídrico chega a 2500 mm por ano (SILVA *et al.*, 2010). Isso, aliado à variabilidade temporal e espacial das chuvas, aos solos rasos, predominantemente cristalinos e pobres em matéria orgânica, gera uma grande fragilidade desta região à degradação. Apesar dessas características gerais, o semiárido é uma região múltipla e heterogênea, com sub-regiões com maior ou menor fragilidade à degradação, diferenças biológicas, geológicas e físicas, ocupação humana e diferentes formas de uso e exploração dos recursos naturais (PEREZ-MARTIN *et al.*, 2010).

O semiárido comporta a Caatinga e o Cerrado, os biomas mais frágeis e com menor percentual de áreas protegidas em Unidades de Conservação. Contudo, a Caatinga é o bioma com prioridade para conservação dentre os demais biomas encontrados na América Latina (SILVA, 2006). Muitas dessas contradições são frequentes quando falamos do semiárido, isso se repete no estereótipo de região pobre, árida e sem vida, quando na verdade, é riquíssima em fauna, flora, cultura e recursos humanos e naturais. É necessário mudar a percepção e comportamento, tanto das populações que vivem na realidade do semiárido, quanto da sociedade de modo geral. Há necessidade de produzir conhecimento e tecnologias para a região semiárida, ou que estes sejam minimamente adaptados, de maneira eficiente, para que sejam usados no contexto das características únicas do semiárido (ANDRADE, 2004).

Por décadas a seca foi considerada uma vilã que deveria ser combatida a todo custo. Com isso foram feitas políticas governamentais de desenvolvimento do semiárido, envolvendo desde a criação das comissões “Açudes e Irrigação”, “Estudos e Obras contra os Efeitos da Seca”, passando pela fundação da Inspeção de Obras Contra as Secas (IOCS), atualmente chamada de Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), programa Nordeste I, Pró-Água, até os mais recentes como o Programa “Um Milhão de Cisternas Rurais”. Com exceção de poucos, como o último projeto mencionado, muitos foram criticados por serem considerados como exploração da miséria e simples apropriação de estereótipos com in-

tuito político. Como políticas públicas essas ações foram consideradas paliativas, por vezes, pouco eficientes e, em geral, de pouca durabilidade para que de tempos em tempos fossem refeitas. As ações foram consideradas obras de auxílio necessárias em momentos críticos pelos quais as populações locais passam, mas que muitas vezes não dão independência e emancipação às famílias que já convivem com pouca segurança socioeconômica (PEREZ-MARIN *et al.*, 2010; PASSADOR *et al.*, 2010).

Outra frente de combate à seca foi a implantação da agricultura irrigada, que foi considerada como “salvadora” das regiões semiáridas. Com a água veio a produção, o crescimento econômico de alguns, mas, segundo Perez-Marín *et al.* (2010), com essa modernização na agricultura e pecuária não veio a devida atenção às outras questões como os impactos ambientais que as práticas de irrigação trariam.

A maior parte dos Estados do Nordeste brasileiro sofreu com os problemas gerados e não solucionados associados a irrigação. O aumento da salinidade dos solos, inviabilizando-os para a agricultura ou gerando custos elevados para o seu tratamento, agravamento das áreas com processos de desertificação, degradação em estágios de difícil recuperação, poluição dos corpos hídricos e bacias hidrográficas, afetando vários ecossistemas, incluindo a saúde das pessoas que utilizam as águas. Segundo Sampaio e Salcedo (1997) a irrigação pode causar agravamento da salinidade resultando em degradação física, química e biológica.

O semiárido sofre processos erosivos que estão constantemente modificando-o. As intensas chuvas que ocorrem no período úmido têm grande potencial erosivo, podendo, por meio do escoamento superficial carregar as camadas com maiores quantidades de matéria orgânica e nutrientes. Fatores antrópicos como a irrigação e o manejo do solo podem modificar os processos naturais de erosão. Srivasan *et al.* (2003) comprovaram que a caatinga nativa diminuiu à zero a erosão, retardando o fluxo do escoamento superficial e aumentando a infiltração, mostrando ser um mecanismo de proteção do solo eficiente, até mesmo em situações de grande pluviosidade. No mesmo trabalho os autores obtiveram resultados similares com a caatinga regenerada e com áreas com vegetação rasteira, confirmando que a cobertura do solo é um fator decisivo na manutenção dos serviços ecológicos do solo.

2.2 Potencial de leguminosas em sistemas de produção agrícola no semiárido.

Em busca de alternativas para a adição de matéria orgânica e nitrogênio aos solos degradados do semiárido, o uso de leguminosas se mostra promissor. Antes de serem cortadas e incorporadas, as leguminosas protegem o solo contra os agentes erosivos; após o corte e in-

corporação contribuem com o aporte de matéria orgânica e nitrogênio ao solo. O nitrogênio é acumulado na biomassa das leguminosas mediante retirada da atmosfera por meio das relações simbióticas. Essa forma de adicionar nitrogênio ao solo é benéfica porque reduz a necessidade de adubos nitrogenados minerais que, além de representarem um custo financeiro aos produtores, consomem muita energia para serem produzidos e representam riscos ambientais quando aplicados de modo indiscriminado, principalmente em períodos mais úmidos ou de maior precipitação (PEREIRA *et al.*, 2009).

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo natural que consiste na transformação e fixação do nitrogênio gasoso da atmosfera, por meio do complexo nitrogenase de bactérias diazotróficas, em nitrogênio utilizável pelas plantas que fazem associações simbióticas com essas bactérias. A simbiose mais estudada é a que ocorre entre as leguminosas e as bactérias conhecidas como rizóbios. Nesse contexto a FBN é considerada o processo biológico mais importante do planeta depois da fotossíntese. Tanto as bactérias como as plantas podem se desenvolver sem a necessidade da associação simbiótica, mas ao serem expostas a condições de baixa disponibilidade de nitrogênio começa uma troca de sinais que culmina na formação dos nódulos. Essas associações, em geral, são muito específicas, onde apenas determinadas espécies de bactérias se associam com determinada planta (EMBRAPA, 2019).

A rotação de cultura e o uso de adubos verdes são exemplos nos quais as leguminosas podem ser inseridas como alternativa ao aporte de matéria orgânica e nitrogênio. Segundo Heinrichs (1996), a adubação verde auxilia no aumento de produtividade já que restabelece parte dos nutrientes exportados pelas culturas e assim equilibra os processos químicos, físicos e biológicos do solo.

São necessários estudos para avaliar qual espécie leguminosa possui características de rápido crescimento e produção de biomassa, competitividade com vegetação de regeneração, vigor e tolerância a possíveis contaminantes (LAMEGO; VIDAL, 2007), tornando-se necessário estudar quais as melhores espécies locais, pois elas são mais adaptadas às condições da região, contribuindo para que a produção de biomassa das mesmas seja mais rápida e mais abundante, o que pode intensificar o processo de regeneração (ARAUJO FILHO; CARVALHO, 1997).

2.3 Leguminosa sob deficit hídrico

Com as dificuldades e problemas referentes ao aumento da fronteira agrícola, e utilização de áreas com certas fragilidades ao uso intensivo, surgem mais áreas em processo

de degradação. Para minimizar tais problemas se busca a utilização de espécies produtivas e que sejam resistentes a fatores limitantes, como a escassez de água (FROSI *et al.*, 2016).

O déficit hídrico acarreta diversos prejuízos no desenvolvimento vegetal. Santa-rém *et al.* (1996) sugerem que o limite de tolerância das leguminosas ao déficit hídrico estará entre os potenciais de -0,49 e -1,03 MPa. Segundo os autores, potenciais osmóticos mais negativos impediriam a germinação da semente. Segundo Boyer (1978) valores de potencial osmótico entre -1,4 e -6,0 MPa seriam potencialmente letais para algumas espécies, de modo que o feijão-comum e o Caupi, por exemplo, suportariam -1,5 MPa e -2,5 MPa, respectivamente.

O estresse hídrico, mesmo não causando a morte das plantas, retarda a germinação, diminui o crescimento da parte aérea das plantas e o peso das plântulas. Santos *et al.* (2016), em seus estudos com catingueira e angico, leguminosas comuns da Caatinga, também confirmaram os efeitos do déficit hídrico no atraso da germinação das sementes dessas espécies. A deficiência de água no solo causa diminuição na massa seca da parte aérea, massa seca radicular e queda significativa na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

O feijão caupi (*Vigna unguiculata*) é uma leguminosa herbácea originária do continente africano, é uma espécie rústica que se desenvolve bem mesmo em solos de baixa fertilidade e com limitação hídrica, possuindo raiz principal e numerosas raízes secundárias (GOMEZ, 2004; CALEGARI, 1995). A cultivar denominada “Setentão” possui hábito de crescimento indeterminado, porte semiprostrado, com ciclo que varia entre 65 e 70 dias, é recomendada para a região semiárida e mesmo em sistema de sequeiro tem produtividade média de 800 kg/ha (ANDRADE JUNIOR, 2019).

O feijão mungu (*Vigna radiata*) é uma leguminosa originária da Ásia de porte semi-ereto ou ereto, com crescimento determinado, atingindo alturas entre 50 e 70 cm. Possui folhas alternadas trifoliadas, inflorescências axilares de coloração amarelada. O fruto é uma vagem e as sementes são de cor opaca, verde ou amarela. Espécie adaptada às condições tropicais e que chega a produzir 2000 kg de grãos/ha. Se desenvolve melhor em solos argilosos com pH acima de 5,5 e aos 25 DAE já se pode observar a presença dos nódulos. (SINAVIMO, 2019; BARRADAS, 1989).

O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) é uma leguminosa herbácea, arbustiva com origem na América Central, sendo adaptada às condições tropicais. É uma espécie bem rústica, resistente a altas temperaturas e a seca, com crescimento ereto e desenvolvimento inicial lento. Sua altura pode chegar a 1,2 m. Possui folhas grandes ovaladas e inflorescências axilares de coloração arroxeada. Se desenvolve bem em praticamente todos os tipos de solo, é to-

lerante ao sombreamento e resistente ao ataque de insetos (LOPÉZ, 2012; RODRIGUES, 2004)

As plantas utilizam de diversos mecanismos para conseguir manter suas funções mediante baixa umidade no solo. Alguns genótipos de soja mantêm o potencial produtivo mesmo depois de estresse hídrico severo por curto período, mantendo o conteúdo relativo de água na área foliar (FIOREZE *et al.*, 2011). Há mudanças no crescimento, produção e substâncias de metabolismo secundário e diminuição na quantidade de carbono reserva que, sob situação de estresse, é translocado para o sistema radicular (OLIVEIRA *et al.*, 2015; BERTHOLDI *et al.* 2017). Segundo Soares *et al.* (2015) há redução do comprimento da raiz, já Frosi *et al.* (2016) verificaram em plantas sob deficit hídrico a diminuição das quantidades de carboidratos solúveis, aminoácidos livres e proteínas solúveis totais nas folhas e aumento destes no sistema radicular, com incremento de carboidratos solúveis na raiz superiores a sete vezes.

Segundo Ribeiro Jr e Ramos (2006), qualquer fator que interfira direta ou indiretamente no crescimento da planta afetará a nodulação e conseqüentemente a FBN. Santos *et al.*(2012) constatou redução no número e massa dos nódulos em soja sob deficit hídrico, confirmando a sensibilidade da FBN a esse estresse. Zanella *et al.*(2004), em estudos com feijão-de-porco, encontrou prejuízos ao desenvolvimento sob deficit hídrico incluindo a fotossíntese que pode afetar também a nodulação e FBN dessa planta. Há também relações de diminuição do vigor e do fluxo de água para os nódulos em situação de restrição hídrica (HUNGRIA *et al.*, 2007; KRON *et al.*, 2008).

As informações até então apresetadas indicam que se deve ter atenção à oferta de água para as leguminosas, bem como para as alternativas visando a retenção da água para o desenvolvimento vegetal e garantia de FBN mais eficiente, quando se pensa em utilizar leguminosas como alternativa para a recuperação de solos degradados. Como, em geral, a disponibilidade de água no semiárido para irrigação é limitada e mais ainda quando se pensa num contexto onde o solo está degradado e as condições de retenção de água são ainda piores, são necessárias alternativas para a melhoria da manutenção da umidade nesses solos e uma dessas alternativas pode ser o uso de polímeros superabsorventes.

2.4 Uso de polímeros superabsorventes para viabilizar o desenvolvimento vegetal mediante deficit hídrico

A criação dos polímeros retentores de água se iniciou por volta da década de 50, apresentando ação inferior aos produtos atualmente utilizados. Quando a patente expirou duas décadas depois, se tornou possível que outras empresas passassem a fazer estudos com os polímeros, conseguindo aumentar sua capacidade de retenção de água, mas, mesmo assim, o produto continuou inviável economicamente (AZEVEDO *et al*, 2002a).

Os condicionadores do solo, onde estão incluídos, os polímeros superabsorventes, são considerados materiais que tem como característica a melhoria das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do solo, logo os condicionadores do solo são alternativas para auxiliar no desenvolvimento dos vegetais (CARVALHO; AMABILE, 2006).

Segundo Balena (1998) quando secos, esses polímeros possuem características de grânulos quebradiços translúcidos de cor esbranquiçada, mas quando umedecidos ficam com consistência macia e elástica, e apresentam grande capacidade de absorção e água. Os hidrogéis são polímeros de estrutura tridimensional de constituintes hidrofílicos que ao absorver grandes quantidades de água modificam sua estrutura e a retém dentro de suas macromoléculas, sem sofrer dissolução. A capacidade de retenção e de liberação da água está relacionada com os grupos funcionais hidrofílicos, a arquitetura da cadeia polimérica, sua elasticidade e nível de porosidade (OLIVEIRA, 2017; SABADINI, 2015). Os estudos de Balena (1998) indicam que com o uso dos polímeros há um expressivo aumento na umidade retida no solo, chegando a dobrar os teores de água armazenada.

Vários fatores do desenvolvimento vegetal são influenciados pela quantidade de água no solo. Por isso a umidade do solo é um dos fatores mais importantes para o estabelecimento das plantas. Assim o uso do hidrogel, nome comumente utilizado para se referir aos polímeros aqui mencionados, pode interferir significativamente, melhorando fatores como altura e biomassa seca total quando este material é utilizado (AZEVEDO *et al.*, 2002b). O uso do hidrogel também se mostrou eficiente em culturas como a soja, na qual o produto propiciou acréscimo significativo no rendimento dos grãos (PELEGRIN, 2017), assim como aumento na produtividade de outras culturas como a alface (ARAGÃO, 2018).

Os estudos de Buzetto *et al.* (2005) mostram que com o uso de hidrogéis há aumento na retenção de água do substrato, aumento de tempo de umidade retida, diminuição da morte de plantas em estágios iniciais, no transplântio e nas primeiras semanas pós transplante, mesmo não interferindo na velocidade de crescimento. No estudo de Azevedo *et al.* (2002b) realizado com a cultura do cafeeiro, foi constatado que as plantas que recebiam hidrogel resistiram a períodos mais longos sem rega, não havendo comprometimento no crescimento das mesmas.

Além de ser fundamental para questões relacionadas a umidade no solo, o emprego do hidrogel pode reduzir a necessidade de adubação em até 50%, pois ao reter a água também retem os nutrientes de modo a diminuir os índices de perda dos mesmos por fatores como a lixiviação (NAVROSKI *et al*, 2016). Com a utilização de hidrogel foi constatada diminuição de nutrientes lixiviados em maracujazeiro amarelo e frequência de irrigação (FAGUNDES *et al*, 2015; CARVALHO, 2003), aumento em altura, acúmulo de biomassa e sobrevivência pós semeadura de *Mimosa scabellia* (KOZEN *et al*, 2017), assim como aumento do sistema radicular, altura, diâmetro, massa seca total, número de vagens e de grão do feijão caupi (PEREIRA *et al.*, 2018).

Pelos motivos apresnetados, os polímeros superabsorventes podem ser um auxílio fundamental no cultivo e no estabelecimento de leguminosas para a recuperação e solos degradados que, em geral, possuem problemas com a retenção de água já que os teores de matéria orgânica e cobertura do solo são baixos e a estrutura do solo está degradada. Assim o hidrogel pode ser uma opção a mais dentre as medidas para a recuperação dos solos degradados do semiárido.

O presente trabalho foi desenvolvido para testar a hipótese de que há uma espécie, dentre as estudadas (Caupi, mungu e o feijão-de-porco) que se desenvolve melhor mediante a aplicação de hidrogel. Tem como objetivo testar as 3 espécies de leguminosas com e sem a utilização do hidrogel e verificar qual tem o melhor desenvolvimento, avaliando atributos químicos e de crescimento das plantas, além de atributos relacionados a nodulação e às modificações químicas relacionadas a teor de carbono e nitrogênio ocorridas no solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de instalação do experimento e tipo de solo

O experimento foi instalado em casa de vegetação que pertence ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceara (UFC), localizada no Campus do Pici, Fortaleza, Ceara (3°45'47" de latitude Sul e 38°31'23" de longitude Oeste). A temperatura média da região em que foi instalado o experimento é de aproximadamente 28°C, a altitude média é de 47 m, com precipitação de cerca de 1.600 mm/ano e o clima é classificado como

tropical quente, tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (FUNCEME, 2019; CLIMATE, 2018).

O solo utilizado foi um Planossolo Háplico (comunicação verbal) que foi coletado no município de Pentecoste com os seguintes atributos químicos (Tabela 1) e físicos (Figura 1), sendo classificado como de textura franca.

Tabela 1-Características químicas do solo utilizado

Atributo	Unidade	Valor
N	gkg ⁻¹	1,4
P	mgkg ⁻¹	8,3
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³ .	1,5
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³ .	1,5
Na ²⁺	cmol _c dm ⁻³ ..	0,1
K ⁺	.cmol _c dm ⁻³ .	1,0
Al	cmol _c dm ⁻³ .	0
H ⁺⁺ Al ³⁺		1,3
Corg	gkg	1,3
pH (H ₂ O)		6,2
S		3,2
CTC _{efe}	cmol _c dm ⁻³	3,2
V	%	70,8

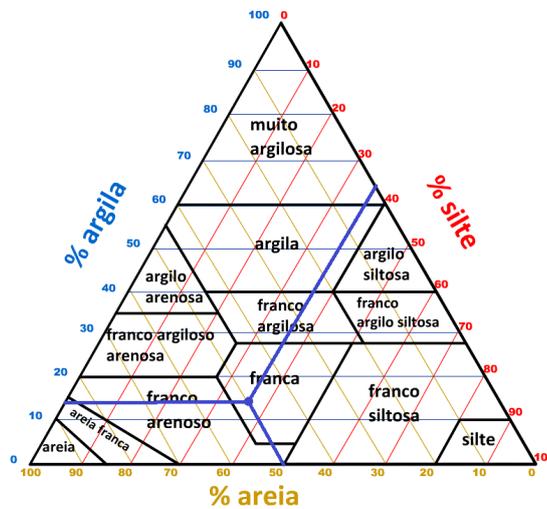
Fonte: André Nogueira

Tabela 2 – Atributos físicos do solo.

Atributo	Unidade	Valor
Areia	gkg-1	505
Silte	gkg-1	361
Argila	gkg-1	134

Fonte: André Nogueira

Figura 1 – Classificação textural do solo.



Fonte: Autor

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial 3x2, sendo 3 espécies de leguminosas e tratamentos com e sem a utilização de hidrogel. Foram feitas 5 repetições totalizando 24 unidades experimentais. As unidades experimentais foram constituídas por vasos com capacidade para 4 litros.

As espécies de leguminosas utilizadas foram: feijão caupi (*Vigna unguiculata*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e Feijão mungu (*Vigna radiata*). O hidrogel que foi utilizado foi o copolímero de poliácrlato de potássio poliácrlamida Forth Gel®, na dose de hidratação de 4 g/L de água para uma aplicação de 300 mL do gel hidratado/vaso, seguindo a recomendação do fabricante para hortaliças, pois é o que mais se aproximava das espécies escolhidas (FORTH, 2018). As sementes foram disponibilizadas pelo Banco Ativo de Germoplasma de Feijão-Caupi da UFC.

3.3 Instalação e condução do experimento

O solo foi coletado nos primeiros 20 cm de profundidade, sendo posteriormente seco ao ar, passando em peneira com malha de 5 mm de abertura. Após peneiramento o solo foi colocado nos vasos até que falte apenas 5 centímetros para completar o volume dos

mesmos.

O hidrogel foi hidratado conforme recomendação do fabricante (4 g/l de água), foram aplicados ao solo e misturados, uniformemente, 300 mL do gel hidratado por vaso das unidades que receberam esse tratamento.

Foram semeadas 3 sementes das espécies de leguminosas escolhidas em cada vaso e, posteriormente, foi feito o desbaste aos 7 dias após a semeadura, deixando somente a planta mais vigorosa.

Após semeadura, foi feita irrigação até completar o volume de água necessário para atingir 50% da capacidade de campo, proporcionando limitações à disponibilidade hídrica para as plantas. Foram feitas pesagens diárias antes da irrigação para definir e completar a massa de água perdida. Foi utilizada água destilada na irrigação. A capacidade de campo para o solo nos vasos foi determinada pelo método direto (REICHARDT, 1988).

O experimento foi conduzido até os 30 dias após emergência.

3.4 Avaliações

3.4.1. Análises de crescimento vegetativo.

Foi avaliado o crescimento da planta aos 10 e 30 dias após emergência, medindo a altura das plantas do colo até o meristema apical e o diâmetro do caule.

Ao final do experimento, as plantas foram removidas dos vasos e tiveram a parte aérea separada da radicular. Na parte radicular foram contados os nódulos de fixação biológica de nitrogênio. Após secagem em estufa de circulação de ar até obtenção de massa constante, o material foi pesado para obtenção da matéria seca da parte aérea e radicular para posterior cálculo da relação entre as duas biomassas, tendo sido também determinada a massa seca dos nódulos.

3.4.2. Análises químicas do material vegetal

A matéria seca da parte aérea e da raiz foi peneirada separadamente para determinação dos teores de nitrogênio e carbono, conforme descrito no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes da Embrapa (SILVA, 2009).

Após a determinação do teor de nitrogênio e carbono na parte aérea e de raízes, o mesmo foi multiplicado pela massa seca de cada uma das partes para obtenção dos valores de

acúmulo desses elementos químicos.

3.4.3. Análises químicas do solo

Foram determinados os teores de nitrogênio e carbono no solo, conforme descrito em Mendonça e Matos (2017).

3.4.4. Análise estatística

Foi realizado teste de normalidade dos dados e, mediante ausência de distribuição normal, foi aplicada transformação de dados as variáveis: número de nódulos (Nnod), massa dos nódulos (Mnod) e acúmulo de nitrogênio na raiz (ANR). As transformações feitas foram: $(Nnod+0,5)^{-8,5}$, $(Mnod+0,5)^{0,3}$ e $\log(ANR)$. Na sequência, foi feita análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e os tratamentos que resultarem em diferenças significativas serão analisados a partir de comparação de medias. Foi utilizado o software SAS Institute Inc. Cary NC USA 2010 v.9.3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi finalizado aos 30 dias após a emergência das plantas e não foi observada interação entre fatores de tratamento em nenhuma das variáveis estudadas. Contudo, houve diferença significativa para os fatores de tratamento isoladamente para as variáveis de crescimento das plantas (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Médias das variáveis de crescimento (altura e diâmetro) aos 10 e 30 dias após emergência (DAE) para cada espécie de leguminosa avaliada.

Espécie	Altura 10DAE (cm)	Altura 30DAE (mm)	Diâmetro 10DAE (cm)	Diâmetro 30DAE (mm)
Feijão caupi	21,4b	36,3b	3,5b	4,9a
Feijão mungu	20,3b	36,2b	2,0c	3,3b
Feijão-de-porco	40,1a	154,1a	3,9a	4,7a
CV(%)	21,61	15,52	7,29	7,11

CV = coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam as medias dentro de cada coluna a 5% de significância.

Como esperado, houve diferenças significativas entre as espécies tanto nas medições aos 10 como aos 30 DAE. Em relação aos tratamentos com e sem o hidrogel apenas o diâmetro apresentou diferença significativa aos 30 DAE. Como é possível observar na Tabela 3 a espécie *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) apresentou maior altura e diâmetro em virtude de seu crescimento rápido e grande produção de biomassa, confirmando sua rusticidade e capacidade de superar 1 m de altura (RODRIGUES, 2004). A espécie *Vigna radiata* (feijão mungu) apresentou menor crescimento em relação às demais, pois chega no máximo aos 65 cm de altura (AGRONOMICA, 2019) e algumas variedades podem ser favorecidas por dias curtos, realidade diferente da encontrada nesse experimento (LAWN *et al.*, 1988).

Tabela 4. Médias das variáveis de crescimento (altura e diâmetro) aos 10 e 30 DAE para os tratamentos com e sem hidrogel.

Tratamento	Altura 10DAE (cm)	Altura 30DAE (cm)	Diâmetro 10DAE (mm)	Diâmetro 30DAE (mm)
Sem	28,2a	73,8a	3,1a	4,1b
Com	26,4a	77,3a	3,2a	4,5a
CV(%)	21,61	15,52	7,29	7,11

CV = coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam as medias dentro de cada coluna a 5% de significância.

Com relação a ausência de crescimento em resposta à aplicação do hidrogel, outros estudos também apresentaram resultados semelhantes. Trabalhos realizados com *Eucalyptus urophylla* (BUZETTO *et al.*, 2005; FERNANDES, 2010) e leguminosas arbóreas (SOUZA, 2014), mostraram que o uso do hidrogel não apresentou efeito sobre o crescimento. Já Cardoso (2017) observou a diminuição no diâmetro do caule de mudas de Jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* Lee & Lang) e Jatobá-do-cerrado (*Hymenaea Stigonocarpa* Mart.), enquanto que Monteiro (2014) e Bernardi *et al.* (2012) constataram resultados significativos no aumento do diâmetro do caule com o uso do hidrogel em mudas nativas do cerrado e *Corymbia citriodora* respectivamente. Para o último autor citado, o aumento no crescimento das plantas foi mais evidente após dois meses do plantio, sugerindo que o efeito do hidrogel pode ser observado mediante maior tempo de observação das plantas.

Apesar de a espécie *Canavalia ensiformis* ter apresentado maior altura e diâmetro de caule a mesma apresentou menor número de nódulos (Tabela 5), isso ocorreu, pois diferente das demais espécies avaliadas seus nódulos se apresentavam intimamente ligados formando uma grande massa agrupada. Ao comparar as espécies *C. ensiformis* e *Vigna*

radiata foi observado que a primeira possui média de 1,25 nódulo e a segunda 19,37 nódulos, apresentando grande diferença. Mas ao comparar as massas dos nódulos se constata que a primeira possui 31,2 mg de massa de nódulos enquanto que a segunda espécie possui 15 mg, não diferindo estatisticamente entre elas, confirmando que o número de nódulos não é um parâmetro muito confiável para atestar eficiência na FBN (SOUZA *et al.*, 2008).

O feijão caupi apresentou médias superiores de massa de nódulos por ser leguminosa promíscua, ou seja, leguminosa que pode fazer relações de simbiose com diversas espécies de bactérias diazotróficas, possibilitando relações com as populações nativas de bactérias simbiotes (COSTA *et al.*, 2001). Estudos realizados por Melloni *et al.* (2006) reafirmam os resultados do presente trabalho, pois mostram que o caupi não apresentou diferenças significativas entre tratamentos com e sem adubação mineral nitrogenada, indicando o ótimo potencial que a espécie tem em se relacionar com as bactérias diazotróficas presentes no solo.

Houve ataque da lagarta do cartucho em oito unidades experimentais, sendo seis unidades do tratamento com hidrogel e duas unidades no tratamento sem aplicação do mesmo. O controle foi feito duas vezes ao dia, eliminando-as manualmente.

Tabela 5. Atributos relacionados à parte aérea e às raízes das espécies avaliadas.

Espécie	MSPA (g)	MSR (g)	R/PA	NNod	Mnod (mg)	ANPA (g)	ANR (g)	ACPA (g)	ACR (g)
Feijão caupi	3,8b	0,6b	0,2a	108,4a	105,0a	126,2a	13,8a	1,7b	0,2b
Feijão mungu	2,4c	0,4c	0,2a	19,4b	15,0b	71,6b	7,9b	1,2c	0,1c
Feijão de porco	7,0a	0,8a	0,1a	1,2c	31,2b	172,8a	12,9a	3,1a	0,3a

CV(%) 15,88 19,62 25,37 11,79 22,13 19,89 9,85 17,63 21,90
MSPA = massa seca da parte aérea. MSR = massa seca das raízes. R/PA = relação raiz parte aérea. Nnod = número de nódulos. Mnod = massa dos nódulos. ANPA = acúmulo de nitrogênio na parte aérea. ANR = acúmulo de nitrogênio nas raízes. ACPA = acúmulo de carbono na parte aérea. ACR = acúmulo de carbono nas raízes. CV = coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam as medias dentro de cada coluna a 5% de significância. As transformações para as variáveis sem distribuição normal foram: $(Nnod+0,5)^{-8,5}$, $(Mnod+0,5)^{0,3}$ e $\log(ANR)$. Os valores na tabela são os reais e os resultados de diferenças de medias os transformados.

Algumas variáveis que mesmo não apresentando diferença estatística entre tratamentos, indicam superioridade do tratamento com hidrogel. Na altura, por exemplo, as unidades experimentais que receberam hidrogel apresentavam médias menores aos 10 dias e aos 30 já superavam numericamente o outro tratamento, sugerindo um crescimento diário superior. Outro exemplo é a massa seca da parte aérea (MSPA) na qual os tratamentos não

diferiram estatisticamente, mas foram observados maiores valores no tratamento com hidrogel, o que poderia ser maior caso metade das plantas com hidrogel não tivessem sido atacadas por lagartas.

Segundo Ribeiro Jr. e Ramos (2006) qualquer fator que afete o crescimento da planta pode modificar os processos de fixação biológica do nitrogênio (FBN) e vice-versa. Isso indica que as diferenças entre acúmulo de biomassa e massa de nódulos poderiam ser maiores que as encontradas, sugerindo que novos estudos semelhantes devem ser feitos para confirmar isso.

O tratamento com hidrogel, como pode ser observado na tabela 6, se mostrou superior na grande maioria das variáveis, não diferindo do tratamento sem hidrogel apenas em massa seca da parte aérea (MSPA), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) e número de nódulos (Nnod). A medida do número de nódulos, como informado anteriormente, não reflete a realidade, pois quando se observa a massa de nódulos (Mnod) se constata que o tratamento com hidrogel proporcionou um aumento de cerca de 70% do parâmetro avaliado, confirmando que a massa de nódulos é o melhor parâmetro para avaliação da nodulação (SOUZA *et al.*, 2008) e consequentemente o potencial de FBN.

Tabela 6. Atributos relacionados à parte aérea e às raízes das plantas em resposta aos tratamentos com e sem hidrogel.

Trat.	MSPA (g)	MSR (g)	R/PA	NNod	Mnod (mg)	ANPA (g)	ANR (g)	ACPA (g)	ACR (g)
Sem	4,20a	0,47b	0,12b	39,5a	37,33b	113,55a	9,03b	1,81b	0,18b
Com	4,64a	0,74a	0,17a	46,5a	63,83a	133,50a	14,10a	2,17a	0,26a
CV(%)	15.88	19.62	25.37	11.79	22.13	19.89	9.85	17.63	21.90

MSPA = massa seca da parte aérea. MSR = massa seca das raízes. R/PA = relação raiz parte aérea. Nnod = número de nódulos. Mnod = massa dos nódulos. ANPA = acúmulo de nitrogênio na parte aérea. ANR = acúmulo de nitrogênio nas raízes. ACPA = acúmulo de carbono na parte aérea. ACR = acúmulo de carbono nas raízes. CV = coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam as médias dentro de cada coluna a 5% de significância. As transformações para as variáveis sem distribuição normal foram: $(Nnod+0,5)^{-8,5}$, $(Mnod+0,5)^{0,3}$ e $\log(ANR)$. Os valores na tabela são os reais e os resultados de diferenças de médias os transformados.

Os atributos radiculares foram os que mais diferiram entre os tratamentos (Tabela 6). A massa seca das raízes (MSR) aumentou em mais de 50%, confirmando resultados também obtidos por Dannels (1993) que observou que com o uso do hidrogel houve aumento da biomassa radicular nas hortaliças por ele estudadas, aumento este de 5 a 8 vezes o do tratamento sem hidrogel. A relação raiz/parte aérea (R/PA) também apresentou aumento

próximo a 50%, pois como atestou Hutterman (1999) o uso do hidrogel propicia acréscimo de ramificações nas raízes e com isso de biomassa radicular. O acúmulo de nitrogênio na raiz (ANR) aumentou cerca de 55% confirmando que houve uma melhor FBN, assim como o acúmulo de carbono na raiz (ACR) que foi 45% superior à testemunha, demonstrando que o uso do hidrogel cria condições para que essas espécies tenham maiores chances de sobrevivência sob déficit hídrico.

Figura 2 – Sistema radicular de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) sem a aplicação de hidrogel (A) e com aplicação de hidrogel (B).



Figura 3 – Sistema radicular de Feijão Mungu sem a aplicação de hidrogel (A) e com a aplicação do hidrogel (B)



Figura 4 – Sistema radicular de Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) sem (A) e com aplicação de hidrogel(B), e detalhe dos grupamento de nódulos (C).



Com relação ao solo, na Tabela 7 se constata que não houve diferenças significativas para teores de carbono e nitrogênio em resposta às espécies de leguminosas avaliadas. Como o período de permanência das plantas no solo foi curto, não houve tempo suficiente para a ciclagem de nutriente, adicionando pouco resíduo orgânico ao sistema. Conforme Costa *et al.* (2008), no sistema onde há pouca adição de resíduos vegetais ao solo há balanço negativo de C, havendo perda de carbono na forma de CO₂ para atmosfera.

Tabela 7. Teores de carbono e nitrogênio total no solo após a retirada das leguminosas avaliadas no experimento.

Espécie	CS (g/kg)	NS (g/kg)
Feijão caupi	1,9a	1,5a
Feijão mungu	1,8a	1,4a
Feijão-de-porco	2,0a	1,5a
CV(%)	19,01	17,52

CS = teor carbono no solo. NS = teor de nitrogênio no solo. CV = coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam as médias dentro de cada coluna a 5% de significância.

Em relação ao fator de tratamento com e sem aplicação de hidrogel, o tratamento sem o polímero apresentou média de teor de carbono superior ao tratamento com o hidrogel (Tabela 8). Segundo La Scala *et al.* (2005) fatores que influenciam direta ou indiretamente na atividade microbiana, como aumento de temperatura, umidade e revolvimento do solo, podem aumentar a emissão de CO₂, pois afeta os processos de trocas gasosas entre solo e atmosfera, logo o hidrogel por modificar a umidade e a estrutura do solo, expondo a matéria orgânica, anteriormente, protegida nos agregados, aumentando o carbono lábil (LA SCALA *et al.*, 2005) influencia a atividade microbiana, aumentando a taxa de mineralização por aumentar também o contato solo-resíduo (COSTA *et al.*, 2008). Zanatta (2007) acrescenta que o nitrogênio presente no hidrogel pode colaborar com a decomposição do carbono e assim liberá-lo na forma de CO₂ para a atmosfera.

O nitrogênio não apresentou diferença significativa entre as espécies e nem entre os tratamentos.

Tabela 8. Teores de carbono e nitrogênio total no solo para os tratamentos com e sem hidrogel.

Tratamento	CS (g/kg)	NS (g/kg)
Sem	2,10a	1,49a
Com	1,76b	1,45a
CV	19,01	17,52

CS = teor de carbono no solo. NS = teor de nitrogênio no solo. CV = coeficiente de variação. Letras minúsculas comparam as medias dentro de cada coluna a 5% de significância.

A espécie *Canavalia ensiformis* foi a que apresentou melhor desenvolvimento inicial e a *Vigna unguiculata* maior massa de nódulos, indicando maior eficiência na FBN mostrando que podem ser usadas com o intuito de melhoria de solos degradados no semiárido.

O hidrogel contribuiu com o desenvolvimento das espécies avaliadas, proporcionando maior diâmetro de caule aos 30DAE, maior massa seca da parte aérea, maior relação R/PA, maior acúmulo de nitrogênio e carbono nas raízes e maior acúmulo de carbono na parte aérea. Isso confirma que o polímero é uma alternativa para favorecer o desenvolvimento dessas espécies no semiárido.

São necessários novos estudos para afirmar melhor como o uso dos polímeros pode contribuir com a emissão de CO₂, pois o solo representa um grande estoque de carbono no planeta, sendo que no primeiro metro de profundidade já possui cerca de 3 vezes o estocado pela vegetação e 2 vezes o que existe na atmosfera, sendo por isso o solo um

importante fator que interfere no aquecimento global, pois pode ser um dreno de Co₂, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (BAYER *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2006).

5 CONCLUSÃO

O hidrogel beneficiou todas as espécies de leguminosas estudadas.

Não houve uma espécie de leguminosa que se desenvolveu melhor que as demais mediante aplicação de hidrogel.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B.; OLIVEIRA, T. S.. Análise espaço-temporal do uso da terra em partes do semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v.28, p.393-401, 2004.
- ANDRADE JUNIOR, A.S. de; SANTOS, A.A. dos; SOBRINHOS, C.A.; BASTOS, E.A.; MELO, F. de B.; VIANA, F.M.P.; FREIRE FILHO, F.R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M.J.; SILVA, P.H.S.; RIBEIRO, V.Q. **Cultivares e produção de sementes: sistemas de produção feijão-caupi**. EMBRAPA.2019. Disponível em:<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fcklneyu02wx5eo0a2ndxyinqjsd.html>. Acesso em 25 de jun. 2019.
- ARAGÃO, Francisco Thiago de Albuquerque. **Uso de hidrogel no cultivo da alface submetidas a déficit hídrico**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ARAUJO FILHO, J.C.; CARVALHO, F.C.. **Desenvolvimento sustentável da caatinga**. EMBRAPA-CNPC, (Circular técnica, 13), Sobral, CE, 1997. 19p.
- AGRONOMICA. **Feijão-mungo**(*Vigna radiata* L.). 2019 Disponível em: <www.agronomicabr.com.br/agriporticus/detalhe.aspx?id=320>. Acesso em: 10 de jun. 2019.
- AZEVEDO, T. L. de F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A de. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do programa de Ciências Agro-ambientais**. Alta Floresta-MT, v.1, n.1, p.23-31, 2002a.
- AZEVEDO, T.L.F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; FRIZZONE, J.A. Níveis de polímeros superabsorventes, frequência de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum**(UEM), Maringá-PR, v.24, p.1239-1243, 2002b.
- BALENA, S.P.. **Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos**. Curitiba. 57 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná. 1998.
- BARRADOS, C.A.A; SAYÃO, F.A.D.; DUQUE, F.F. **Feijão mungu – uma alternativa proteica na alimentação**. EMBRAPA, (Comunicado técnico, 4) abr./89, p.1-4.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Till. Res.** v.86, p. 237-245, 2006.
- BERNARDI, M.R.; JUNIOR, M.S.; DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T. Crescimento de mudas de *Corymbia citiodora* em função do uso de hidrogel e adubação nitrogenada. **Revista Cerne**, v.18, n.1, p. 67-74. 2012.

- BERTHOLDI, A.A.S.; ENGEL, V.L.; ALMEIDA, L.F.R. **Water relations and carbon dynamics of tree species are affected by structure and species diversity of restored forests**. In : VII World Conference on Ecological Restoration, 2017, Foz do Iguaçu. VII World Conference on Ecological Restoration, 2017.
- BOYER, J.S. Water deficits and photosynthesis. In Kozlowski, T.T. **Water deficits and growth**. New York, Academic Press, v.4, p.154-191, 1978.
- BUZETTO, F.A.; BIZON, J.M.C.; SEIXAS, F. **Avaliação de polímero adsorvente a base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio**. Piracicaba: IPEF, Circular Técnica n. 195, abril, 2005. 5p
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Circular técnica, Londrina: IAPAR. p.115-180, 1995.
- CARDOSO, R.R. **Efeito da incorporação de hidrogel em substratos na produção de mudas de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* Lee & Lang) e jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.)**. 2017. Brasília. 29f., Trabalho de conclusão de curso(Curso de Engenharia Florestal) Universidade de Brasília, Brasília. 2017.
- CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 369p.
- CARVALHO, R.P., CRUZ, M.C.M., MARTINS, L.M. Frequência de irrigação utilizando polímero hidroabsorvente na produção de maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Frutificação**, Jaboticabal-SP. v.35, n. 2, p. 518-526. 2003.
- CLIMATE- DATA. **Clima Fortaleza-CE**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/fortaleza-2031/>>. Acesso em 24 de dez. 2018.
- COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para a avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ci. Rural**, v. 36, p. 693-700, 2006.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.32, p. 323-332, 2008.
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; PEREIRA, R.G. de A. **Formação e manejo de pastagens de calopogônio em Rondônia**. RT/34, EMBRAPA-CPAF Rondônia, ago. 2001. p. 22.
- DANNELS, Paul. **Terracotten horticulture test: tomato, carrot and lettuce**. University of Ghent, Belgica,. 1993.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **FBN: o principal legado da pesquisadora Johanna Dobereiner**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/johanna-dobereiner/fbn>>. Acesso em 07 de jun. 2019.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Fixação biológica do nitrogênio (FBN)**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1495/fixacao-biologica-de-nitrogenio-fbn>> . Acesso em 07 de jun. 2019.
- FAGUNDES, M.C.P.; CRUZ, M.C.M. ; CARVALHO, R.P. ; OLIVEIRA, J. ; SOARES, B.C. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga** (UFERSA. Impresso), v. 28, p. 121-129, 2015.
- FERNANDES, E.R.P. **Hidrogel e turno de rega no crescimento inicial de eucalipto**. 2010. 35p. Dissertação (mestrado) - programa de pós-graduação em produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha Mucuri, Diamantina. 2010.
- FIGUEIREDO, S.L.; PIVETTA, L.G.; FANO, A.; MACHADO, F.R.; GUIMARÃES, V.F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **R. Ceres**, 58:342-349, 2011.
- FORTH JARDIM. **Forth Gel**. 2019. Disponível em: <<https://forthjardim.com.br/produto/forth-gel>>. Acesso em 20 de janeiro de 2019.
- FROSI, G.; ARAUJO, F. T.; LIMA, S. C. B. S.; VITA, A.C.A.M ; PANDOLFI, V.; SANTOS, M.G. ; MORGANTE, C.V. ; MELO, N.F ; BENKO-ISEPPON, A. M. . **Bioquímica foliar e radicular de Stylosanthes scabra vogel (Fabaceae) submetida ao déficit hídrico**. In: 67º Congresso Nacional de Botânica, 2016, Vitória -ES. 67º Congresso Nacional de Botânica, 2016.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Previsão do tempo Fortaleza**. Disponível em; <www.funceme.br/> acesso em 20 de jan. 2019.
- GÓMEZ, Carlos. **Cowpea: Post-Harvest Operations**. Rome: FAO, 2004.
- HEINRICH, R. **Ervilhaça e aveia preta cultivadas simultaneamente como adubo verde e sua influência no rendimento do milho**. 1997. Dissertação (mestrado em solos e nutrição de plantas) ESALQ, Piracicaba, 1996.
- HÜTTERMANN, A. ZOMMORODI, M.; REISE, K. Addition of hydrogels to sil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. **Soil and Tillage Research**. v. 50, p. 295-304, 1999.
- HUNGRIA, M.; CAMPOS, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados, 2007. 80p.
- KOZEN, E.R.; NAVROSKI, M.C.; FRIEDERICH, G.; FERRARI, L.H.; PEREIRA, M.O.; FELIPPE, D. The use of hydrogel combined with appropriate quality and growth performance of *Mimosa scabrella* benth. Seedlings. **R. Cerne**. Lavras, vol.23, n.4, oct.-dec. 2017.

- KRON, A.P.; SOUZA, G.M.; RIBEIRO, R.V. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**. Campinas, v.67, n.1, p. 43-49, 2008
- LA SCALA Jr., N.; LOPES, A.; PANOSSO, A.R.; CAMARA, F.T.; PEREIRA, G.T. Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. **Soil Till. Res.**, v. 84, p. 233-235, 2005.
- LAMEGO, F.P; VIDAL, R. A. Fitorremediação: plantas como agente de despoluição? **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**. Curitiba, v. 17, p. 9-18, 2007.
- LAWN, R.J.; CHAY, P.M.; IMRIE, B.C. **The mungbean industry in Australia**. In; International Mungbean Symposium, 2, 1987, Bangkok – Thailand. Tainan, Taiwan: AVRDC, p. 560-569, 1988.
- LOPÉZ, R.E.da S. *Canavalia ensiformis* (L) DC (Fabaceae). **Revista Fitos**. Rio de Janeiro, v. 7, p. 146-154, jun/set. 2012.
- MELLONI, R; MOREIRA, F.M. de S.; NÓBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O. Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 235-246, 2006.
- MENDONÇA, E.S.; MATOS, Eduardo da Silva. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. 2. ed. Viçosa- MG: UFV _ Gefert, v.1, 221p. 2017.
- MONTEIRO, M.M. **Efeito do hidrogel em plantios de mudas nativas do cerrado para a recuperação de área degradada pela mineração no Distrito Federal**. 2014. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília. 2014.
- NAVROSKI, M; ARAUJO, M; CUNHA, F. a S.; BERGHETTI, A; PEREIRA, M.. Redução da adubação e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de eucalyptus dunnii maiden. **Ciência Florestal**. V. 26, p. 1155-1165, 2016.
- OLIVEIRA, M.A.L. de. **Síntese de hidrogéis superabsorventes como carreadores de herbicidas**. 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciencia de Materiais), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 2017.
- OLIVEIRA, R.B.; LIMA, J.S.S.; REIS, E.F.; PEZZOPANE, E.M.; SILVA, A.F. Níveis de deficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. capixaba precoce). **Engenharia na Agricultura**. Viçosa-MG, v. 16, n. 3, p. 343-350, jul-set, 2008.
- OLIVEIRA, R.M. BERTHOLDI, A.A.S.; ENGEL, V.L.; PASSOS, J.R.S. **Respostas ecofisiológicas em diferentes estádios de desenvolvimento de Euterpe edulis M. (Arecaceae) sob deficiência hídrica**. In III Simpósio Internacional de Botânica Aplicada – SINBOT e XXXV Encontro Regional de Botânicos – ERBOT, 2015, Lavras. III Simpósio Internacional de Botânica Aplicada – SINBOT e XXXV Encontro Regional de Botânicos – ERBOT, 2015.

- PASSADOR, C.S.; PASSADOR, J.L. Apontamentos sobre as políticas públicas de combate à seca no Brasil: cisternas e cidadania? **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, São Paulo, v.15, n.56. p.65-86, 2010.
- PELEGRIN, A. J. D., NARDINO, M., FERRARI, M., CARVALHO, I. R., SZARESKI, V. J., BELLE, R.; SOUZA, V. Q. D.. Polímeros hidroretentores na cultura da soja em condições de solo argiloso na região norte do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 175-182, 2017.
- PEREIRA, J.S.; OLSZEWSKI, N.; SILVA, J.C. da. Retenção de água e desenvolvimento do feijão caupi em função do uso de polímero hidroretentor no solo. **Revista Engenharia na Agricultura**. Viçosa-MG, v.26, n.6, p. 582-591, 2018.
- PEREIRA, N.S. **Utilização de leguminosas como fonte de nitrogênio para a cultura da bananeira**. 2009. Dissertação(Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- PEREZ-MARIN, A.M.; FERNANDES, P.D.; ANDRADE, A.P.; COSTA, R.G.; MENEZES, R.S.C. Desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro. **Parcerias Estratégicas** (impresso), v.15, p.47-60, 2010.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.3, p.211-216, 1988.
- RIBEIRO JR., W.Q.; RAMOS, M.L.G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para a adubação verde. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F., Org. **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369p. il. color.
- RODRIGUES, J.E.L.F. A importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA. **Embrapa Amazonia Oriental**, v.1, p.96, 2004.
- SABADINI, R.C. **Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes**. 2015. 149f. Tese (Doutorado em Química). Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2015.
- SAMPAIO, E. V. S B.; SALCEDO, Ignacio. diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: regiões semiáridas. In Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais dos Simpósios** 1-33, 1997. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-Rom.
- SANTARÉM, E.R.; CORTEZ, J.S.A.; SILVEIRA, T.S.; FERREIRA, A.G. Efeito do estresse hídrico na germinação e crescimento inicial de três espécies de leguminosas. **Acta Bot. Bras.**, 10:213-221, 1996.
- SANTOS, C.A.; SILVA, N.V.; WALTER, L.S.; SILVA, E.C.A.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Germinação de duas espécies da caatinga sob déficit hídrico e salinidade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36 p.219-224. 2016.

SANTOS, E.L. dos; CATTELAN, A.J.; PRETE, C.E.C.; NEUMAIER, N.; OLIVEIRA, M.C.N.; FARIAS, J.R.B.; CARVALHO, J.F.C.; NEPOMUCENO, A.L. Water stress affecting nodulation, oil, protein and grain yield of soybean cultivars. **Global Science and Technology**, v.5, p.109-120, 2012.

SILVA P.C.G. DA; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, cap. 1, p. 18-48.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2º edição. Embrapa. 2009

SILVA, R.M.A. Entre o combate a seca e a convivência com o semiárido. **Transições paradigmas e sustentabilidade do desenvolvimento**. Fortaleza: BNB, 2006.

SINAVIMO(SISTEMA NACIONAL ARGENTINO DE VIGILANCIA Y MONITOREO DE PLAGAS). *Vigna radiata*. 2019. Disponível em: <<https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/vigna-radiata>>. Acesso em 25 de jun. 2019.

SOARES, M. M.; SANTOS JR., H.C.; SIMÕES, M.G.; PAZZIN, D.; SILVA, L.J. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 370-378, out-dez, 2015.

SRIVASAN, V.S.; SANTOS, C.A.G.; GALVÃO, C.O. Erosão hídrica do solo no semiárido brasileiro: a experiência na bacia experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Campina Grande – PB, v. 8, n.2, p. 57-73, abr-jun, 2003.

SOUZA, J.R.L. **Respostas de mudas de leguminosas arbóreas em viveiro à incorporação de polímeros hidroretentores e a adubação nitrogenada de cobertura**. 2014. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília. 2014.

SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; MACIEL, C.D.; CAMPO, R.J.; ZAIA, D.A.M. Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica de nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, n.1, p.83-91, 2008.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do semiárido**. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em 07 de jun. 2019.

ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil Till, Res.**, 94: 510-519, 2007.

ZANELLA, F.; WATANABE, T.M.; LIMA, A.L.S.; SCHIAVINATO, M.A. Desempenho fotossintético de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) sob déficit hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Londrina, v.16, n.5, set.-dez. 2004.