

## **Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo**

Strategies to improve the retention and availability of soil water

**Claudia Klein**

Engenheira Agrônoma, Mestra, Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, Brasil.

*claudiaklein@smo.com.br*

**Vilson Antonio Klein**

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, Brasil.

*vaklein@upf.br*

### **Resumo**

O solo é conhecido pelo seu robusto potencial na armazenagem de água. No entanto, haveria formas de potencializar a armazenagem de água no solo especialmente em períodos de secas? Sabe-se que a dinâmica da água é regida por vários fatores, tais como precipitação, infiltração, estrutura do solo, matéria orgânica, entre outros, por isso é difícil ser prevista e melhorada, e esta revisão tem como objetivo salientar as principais técnicas de manejo que beneficiam a retenção e disponibilidade de água para a exploração agrícola. Técnicas como adição de matéria orgânica, biocarvão, polímeros sintéticos (hidrogéis), bem como, construção de barragens subterrâneas e reservatórios (Dammer Diker) têm mostrado resultados promissores quanto à retenção de água no solo, embora algumas destas necessitem de estudos mais aprofundados. Para que a produção de alimentos aumente com qualidade e sem necessitar de irrigações adicionais, é necessário que os estudos sobre este tema continuem especialmente em campo e em solos característicos no Brasil.

**Palavras-chave:** Textura. Matéria orgânica. Práticas mecânicas

### **Abstract**

Soil is known for its great potential in water storage. However, there would be ways to enhance the water storage in the soil specially in times of drought? It is known that water dynamics is governed by numerous factors, such as precipitation, infiltration, soil structure, organic matter, among others, so it is difficult to predict and improve. This review aims to highlight the main management techniques to improve the retention and availability of water for the farm. Techniques such as application of organic matter, biochar, synthetic polymers (hydrogels), construction of underground dams and reservoirs under the ground (Dammer Diker) have shown promising results in water retention in the soil, although some of these require further study. For food production increases with quality and without requiring additional irrigation is necessary that the studies on this topic continue, especially in the field and in typical soils in Brazil.

**Keywords:** Texture. Organic matter. Mechanical practices

## I INTRODUÇÃO

Na região Sul do Brasil o fenômeno das estiagens vem sendo constante nas últimas décadas, todavia ocorrendo em maiores frequências e intensidades, afetando expressivamente a economia, que em suma é essencialmente agrícola e dependente de água. Aliado a isso, novos híbridos, cada vez mais precoces e eficientes estão sendo colocados no mercado, e é necessário que o solo forneça eficientemente água a estas plantas, que por vezes requerem maior volume de água para alcançar tetos de produtividade. Portanto, torna-se necessário que os agentes envolvidos com a produção agrícola adotem estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água às plantas.

É imprescindível compreender que anteriormente ao armazenamento e retenção de água pelo solo é necessário que a água chegue até o mesmo, evento conhecido como infiltração, portanto para que ocorra potencialização de tais fenômenos no solo, a infiltração (movimento descendente de água no solo atravessando a superfície) deve ser em quantidade adequada. Técnicas vegetativas, edáficas e mecânicas se destacam no propósito de reduzir perdas de água, promovendo a recarga hídrica das reservas subterrâneas e favorecendo a estabilidade dos sistemas agrícolas.

Outrora cabe ressaltar que retenção de água é a capacidade do solo em manter a água fornecida por precipitação ou irrigação. Já a disponibilidade de água às plantas é o volume contido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (KLEIN, 2014). Ambos os processos estão intimamente ligados à distribuição dos poros do solo, a constar os microporos, que são os poros responsáveis pelo armazenamento da água que será aproveitada pelas plantas.

Outros conceitos também são utilizados, como a capacidade total ou a disponibilidade de água no solo, estes especialmente para determinar a sua irrigação. A capacidade total de água no solo (CTA) é dada pela equação:  $CTA = DTA * Z$ , em que  $DTA = (CC - PMP) / 100 * Da$ , sendo DTA = disponibilidade de água no solo (mm cm<sup>-1</sup>), CC = capacidade de campo do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), PMP = ponto de murcha permanente (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), Da = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>) e Z = profundidade da camada de solo (m) (REZENDE et al., 2011) ou do sistema radical da planta.

Alguns valores são utilizados como referência, tais como para solos arenosos 0,25 a 0,10 mm cm<sup>-1</sup>, siltosos 0,10-0,175 mm cm<sup>-1</sup> e argilosos de 0,175-0,25 mm cm<sup>-1</sup> (BROUWER, 1985).

Como a capacidade total de água no solo é utilizada como referência para iniciar a irrigação, já foram determinados valores para algumas culturas e solo conforme o nível de estresse sofrido pelas plantas, neste caso em cana de açúcar, conforme o quadro abaixo (SUGAR RESEARCH AUSTRALIA, 2013).

Água facilmente disponível (mm cm) entre a CC e diferentes níveis de estresse*					
Textura	Nível de estresse de culturas				
	-20 kPa	-40 kPa	-60 kPa	-100 kPa	-200 kPa
Arenoso	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45
Argilo arenoso	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
Franco arenoso	0,45	0,60	0,65	0,70	0,85
Franco	0,45	0,65	0,75	0,85	1,05
Franco argilo arenoso	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
Franco argiloso	0,50	0,55	0,65	0,80	1,05
Pouco argiloso	0,27	0,46	0,57	0,70	0,90
Médio argiloso	0,24	0,43	0,55	0,65	0,83
Muito argiloso	0,21	0,40	0,53	0,60	0,81

\*Adaptado e traduzido de Sugar Research Australia (2013).

O volume de água retida é característica de cada solo e resultado da ação conjunta e complexa de vários fatores; depende do teor e da mineralogia da fração argila, do teor de matéria orgânica, das diferenças da microestrutura com elas relacionadas (KLUTE & DIRKSEN, 1986; REICHARDT, 1987) e da compactação. A textura é uma das características mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais, quanto ao tamanho (argila, silte, areia), sendo importante para a descrição, identificação e classificação do solo, com conotação quantitativa (FERREIRA, 2010), assim como na determinação da água disponível as plantas. No que tange ao estado da arte, a textura

é a propriedade que tem maior influência na retenção de água, não sendo modificada com o tempo, exceto se considerar milênios de anos e a ação do intemperismo.

Diferenças na textura do solo, cobertura, espécies vegetais, quantidade de água recebida (precipitação/irrigação) exercem influência na dinâmica da água no solo, especialmente em ambientes semiáridos, mas as respostas no armazenamento de água são modificadas pela época do ano e profundidade do perfil (ENGLISH et al., 2005).

Desta forma, esta investigação tem o objetivo de apresentar métodos e técnicas que otimizem a retenção e disponibilidade de água na camada de solo explorada pelas plantas.

## **2 ZONEAMENTO DE RISCO AGROCLIÁTICO**

A retenção e disponibilidade de água às plantas é um tema tão valioso que existe no Brasil uma política pública para gerir os cultivos agrícolas (especialmente os passíveis de financiamento), o Zoneamento Agrícola de Risco Climático considera como premissa a sementeira, o clima da região, o ciclo dos cultivares, e o tipo de solo (textura, profundidade) e através deste estima-se o volume passível de armazenamento e posterior disponibilidade. Assim, definem-se ambientes aptos à exploração agrícolas com menores riscos de perdas por intempéries.

Machado et al. (2008) observaram dependência significativa de conteúdo de água residual com a interação dos teores de argila e de carbono orgânico do solo nos solos sob pousio e mata. A magnitude dos coeficientes ( $r^2$ ) dos teores de argila (0,98 e 0,87) em relação aos teores de carbono orgânico do solo (-0,55 e -0,69) revela que conteúdo de água foi dependente simultaneamente da combinação de teores de argila e teores de carbono orgânico do solo.

## **3 INCREMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO**

O incremento de matéria orgânica no solo também contribui para a retenção de água, e, associado a menor intensidade de revolvimento, melhora substancialmente a estrutura do solo, o que favorece o desenvolvimento radicular e assim aumenta o tamanho do reservatório de água disponível (ARAÚJO et al., 2004; FRANCHINI et al., 2009). A matéria orgânica pode reter até vinte vezes a sua massa em água, sendo parte retida na estrutura interna, com baixa disponibilidade às plantas (STEVENSON, 1994).

A importância da matéria orgânica na retenção de água no solo depende da textura. Em solos de textura mais arenosa, a retenção é mais sensível à quantidade de matéria orgânica do que quando comparado a solos mais argilosos, que possuem textura mais fina (SILVA & MENDONÇA, 2007).

As contribuições da matéria orgânica podem ser diretas em razão das cargas dependentes do pH e da área superficial específica, e os efeitos indiretos são resultado da agregação do solo (estrutura e porosidade). A matéria orgânica permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior retenção de água, beneficiando a infiltração (SANTOS; PEREIRA, 2013). Adicionar regularmente grandes quantidades de materiais orgânicos é uma estratégia comum para melhorar a disponibilidade hídrica dos solos.

A matéria orgânica está associada à formação de agregados, que por sua vez, têm papel importante na distribuição e no tamanho dos poros, que influenciam na retenção de água no solo (SILVA ; KAY, 1997).

Beutler et al. (2002) avaliaram o efeito de atributos do solo na retenção de água em Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho eutrófico sob diferentes sistemas de uso e manejo. Os sistemas foram algodão, cana-de-açúcar e mata, e observaram que a matéria orgânica não demonstrou participação efetiva na retenção de água, e a densidade do solo revelou correlação positiva com a retenção de água. Além disso, associações positivas entre a retenção de água e os óxidos de ferro e alumínio foram observadas em todas as tensões.

Smith et al. (1985) obtiveram dependência positiva entre limites de plasticidade e matéria orgânica em solos com diferentes mineralogias. Os autores enfatizam que o aumento do teor de matéria orgânica tende a aumentar a área superficial específica do solo, com consequente aumento na retenção de água no solo, elevando os valores dos limites de plasticidade.

A associação positiva dos teores de carbono orgânico do solo com o conteúdo de água residual demonstra a importância da matéria orgânica para a retenção de água em solo cultivado, atribuída à alta superfície específica da matéria orgânica (OLNESS; ARCHER, 2005; MACHADO et al., 2008).

Materiais como esterco e resíduo de celulose, quando utilizados sobre a superfície do solo, promovem a retenção de água por períodos mais prolongados quando comparados aos tratamentos com incorporação. Este fato deve-se ao isolamento criado pelos materiais na superfície do solo, que impedem a incidência direta dos raios solares e o seu aquecimento excessivo, reduzindo a taxa de evaporação da água (COSTA et al., 2006).

O efeito das mudanças no teor de carbono orgânico na retenção de água do solo depende da proporção dos componentes texturais e da quantidade de carbono orgânico presente no solo. Em solos com baixos teores de carbono, o incremento deste conduz ao aumento da retenção de água no solo, especialmente em solos com frações granulométricas maiores (areia) diminuindo em solos de textura fina. Se o solo já possui alto teor de carbono, qualquer aumento de carbono resulta em aumento na retenção de água no solo, independente da textura (RAWLS et al., 2003).

No entanto, deve-se ressaltar que existem resultados controversos na literatura (SILVA; MENDONÇA, 2007) sobre a influência da matéria orgânica na retenção e disponibilidade de água às plantas, assunto este que requer estudos mais aprofundados.

#### **4 FUNGOS MICORRÍZICOS**

Solos já enriquecidos com matéria orgânica frequentemente contêm fungos micorrízicos simbiotes que se constituem em componentes-chave, influenciando o crescimento e produtividade das plantas. As micorrizas são importantes porque melhoram as interações planta-água, aumentando a resistência à seca. As hifas dos fungos micorrízicos são componente substancial da biomassa microbiana do solo e são consideradas importantes mediadores da agregação do solo (MILLER et al., 1995). Estas hifas produzem a glomalina, uma glicoproteína que é um importante agente agregante do solo (RILLIG et al., 2002). Ótimos níveis de agregação oferecem proteção física da matéria orgânica e também influenciam diretamente na movimentação e retenção de água no solo.

A habilidade de associações específicas entre fungos e plantas para tolerar a seca é de grande interesse em áreas afetadas pelo déficit de água. Há registros de que a infecção por fungos micorrízicos aumenta a absorção de nutrientes em plantas com estresse hídrico e permite que elas utilizem a água de forma mais eficiente (NICHOLLS; ALTIERI, 2012).

O efeito das micorrizas nas relações planta-água depende dos ciclos de secagem/umedecimento, da estrutura de poros do solo, bem como do número de conexões de hifas que se estendem da raiz ao solo (ALLEN, 2007). Já existem no mercado diversos inóculos de micorrizas para aquisição, porém carecem de estudos científicos quanto ao êxito em diferentes tipos de solos brasileiros e culturas.

#### **5 FUNGOS MICORRÍZICOS**

O uso de biomassa carbonizada vem sendo redescoberto nos últimos anos. O biochar (biocarvão) é um subproduto sintetizado através da carbonização de biomassa vegetal ou animal via pirólise, é um composto rico em carbono estável (AHMAD et al., 2014). A adição de biochar (1 a 5%) leva a uma diminuição na densidade do solo, aumenta o volume de poros, bem como o conteúdo de água no ponto de murcha permanente (ABEL et al., 2013). A adição de biochar tanto em solos arenosos, como argilosos reduz a densidade e aumenta a retenção de água do solo, o que pode ser explicado pela natureza porosa do biocarvão aumentando a retenção de água no solo (ULYETT et al., 2014). Glaser et al. (2002) relatam aumento de até 18 % na capacidade de retenção de água dos solos. Laird et al. (2010) observaram que o biochar reteve mais água em baixos potenciais (1 a 5 kPa), mas não encontraram efeito na condutividade hidráulica saturada (BROCKHOFF et al., 2010; LAIRD et al., 2010).

Melhorias na condição de capacidade de campo foram registradas com a adição de biochar (CHAN et al., 2007), o aumento do teor de água do solo ou capacidade de retenção de água de um solo com biochar provavelmente terá maiores benefícios em solos arenosos (ATKINSON et al., 2010).

Biochar proveniente de resíduos de poda foram aplicados em pomares de *Vitis vinifera* L., nas

concentrações de 22 e 44 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> aumentaram consideravelmente o volume de água retida no solo (3,2 e 45%) e o potencial de água na folha (24 e 37%) em períodos de seca (BARONTI et al., 2014).

É importante ressaltar que o impacto de biocarvão provavelmente seja muito maior em solos perturbados, degradados ou altamente intemperizados do que sobre os ricos em matéria orgânica (PRÓ-NATURA INTERNATIONAL, 2013).

Mais estudos são necessários para esclarecer se a adição de biochar pode auxiliar no incremento da disponibilidade de água para as plantas em períodos de seca (KARHU et al., 2011).

## 6 POLÍMEROS SINTÉTICOS

Existem polímeros sintéticos recomendados para uso agrícola, como condicionadores de solo, que possuem capacidade de retenção da água do solo com tensão maior que as partículas naturais do solo. Apesar disso, esta tensão é menor que a tensão de sucção pelas raízes das plantas (MARQUES; PINTO, 2013), fato que possibilita que a água seja prontamente liberada às plantas (AZEVEDO et al., 2002), sendo utilizados os polímeros sintéticos como alternativa viável para melhorar o armazenamento de água em áreas de escassez (MENDONÇA et al., 2013). Características do solo, como porosidade e capacidade de armazenamento, podem ser alteradas e promover mudanças nos fatores de produção (ALBUQUERQUE FILHO et al. 2009).

Os hidrogéis são definidos como redes poliméricas tridimensionais que podem reter quantidade significativa de água dentro de sua estrutura e inchar, sem a dissolução (RUI et al., 2007). Estes polímeros podem ser derivados do petróleo, ou, mais recentemente, de fontes renováveis como polissacarídeos, poliésteres ou poliamidas, geralmente advindas de plantios, como a cana de açúcar (LIMA; SOUZA, 2011).

Quando as primeiras moléculas de água começam a entrar na matriz do hidrogel, elas vão hidratar primeiramente grupos hidrofílicos e polares. Por consequência, o hidrogel começa a expandir. Logo, os grupos apolares ficam expostos, interagindo com as moléculas de água. Após essas duas ligações, outra parcela de água (chamada de água livre, pois não participa de ligação) irá entrar na estrutura do gel levado pelo efeito da força osmótica (SILVA, 2007).

O hidrogel tem capacidade de absorver 150 a 400 vezes sua massa seca, pode ser utilizado para aumentar a capacidade de armazenamento de água, minimizando os problemas associados à disponibilidade irregular ou deficitária de água e má estruturação, sendo uma alternativa para a baixa disponibilidade de água no solo, quando esta puder afetar de forma negativa o desenvolvimento das plantas (PREVEDELLO; LOYOLA, 2007).

Narjary et al. (2012) sugerem o uso do hidrogel em cultivos de hortaliças, especialmente em solos arenosos, pois a água disponível para as plantas cultivadas em solos tratados com polímero aumentou 1,5-2 vezes sobre a água disponível para as plantas cultivadas em solos não tratados com gel, sendo suficiente por até 22 dias, enquanto em solos mais argilosos foi suficiente por sete dias.

Em ecossistemas de terras secas, o pós-transplante de mudas de *Quercus suber* L. (sombreiro) produz alta mortalidade, o uso de hidrogel misturado com turfa é uma opção adequada para melhorar a qualidade no transplante. Neste estudo, o hidrogel Stockosorb<sup>®</sup> em 1,5% aumentou a capacidade de retenção de água (alta umidade volumétrica) e de aumento da sobrevivência de mudas no campo em 20% (CHIRINO et al., 2011).

Mendonça et al. (2013) testaram diferentes doses de hidrogel em Latossolo Vermelho distrófico (em vasos), e obtiveram aumento na capacidade de armazenamento de água. O tratamento de 4 g por vaso (8L) aumentou em 12% a capacidade de armazenamento da água no solo em relação à testemunha, enquanto que, aplicando o dobro do produto (8 g por vaso), o acréscimo em relação à testemunha foi de 13%.

O efeito do hidrogel de poliacrilamida do tipo reticulado, Alcosorb 400, na capacidade de retenção de água de um solo arenoso foi estudada em condições de laboratório e casa de vegetação, a capacidade de retenção de água do solo na tensão de 1 kPa aumentou em 23 e 95%, adicionando 0,03 e 0,07%. Isto indicou que o solo com poliacrilamida foi capaz de armazenar mais água do que o solo sem tratamento, reduzindo assim as perdas potenciais devido à percolação profunda em solos arenosos. Experimentos em vasos demonstraram que a quantidade de água armazenada no solo por poliacrilamida estava disponível para as plantas e resultou numa maior utilização de água e de produção de grãos. Ocorreu aumento de 12 e 18 vezes na eficiência do uso da água de plantas de soja cultivadas em solos tratados com 0,03 e 0,07% de poliacrilamida (SIVAPALAN, 2006).

No Brasil, os estudos com polímeros à base de poliacrilamida se restringem a culturas hortícolas, portanto há uma lacuna a ser desvendada quanto a grandes culturas, embora o custo seja elevado, com o desenvolvimento de novos materiais biodegradáveis, pode-se possibilitar incremento de produtividade e desenvolvimento econômico de forma ecológica e sustentável.

## **7 BARRAGENS SUBTERRÂNEAS**

As barragens subterrâneas são uma tecnologia que tem como finalidade primordial aumentar a disponibilidade de água no solo, aproveitando de forma eficiente a precipitação pluvial. Isso ocorre devido ao barramento no solo, que é feito a partir da superfície até a camada impermeável (rocha). Assim, a água da chuva, mesmo que escoar superficialmente, fica retida criando um reservatório de água no perfil (SANTOS et al., 2009). A barragem subterrânea, pelo fato de acumular água nos poros do solo, reduz a taxa de evaporação, com conseqüente acúmulo de água por período mais longo (BARACUHY et al., 2007).

As barragens subterrâneas são projetos de baixo custo, amplamente utilizadas nos países em desenvolvimento, porém requerem uma análise territorial preliminar aprofundada a fim de selecionar os locais ideais para intervenção e planejar adequadamente o trabalho de campo. Têm como vantagens o fornecimento de água às culturas, baixa evaporação e preservação ambiental (OUERDACHI et al., 2012). Forzieri et al. (2008) sugerem que informações hidrológicas e climatológicas devem ser consideradas, tais como tipo de solo, formações rochosas, custo/benefício, ciclo hidrológico, capacidade de retenção de água, vegetação, entre outros. Uma vantagem destas barragens é a construção de poços para “apanhar” água, e esta pode ser destinada a rega manual, dessedentação de animais/humana ou bombeamento para áreas adjacentes.

O manejo da água na barragem subterrânea tem sido discutido, principalmente em relação à salinização. Para diminuir o risco de salinização, recomenda-se a colocação de um tubo na parte mais baixa da barragem para realizar a drenagem da mesma em períodos de elevada precipitação.

## **7 BARRAGENS SUBTERRÂNEAS**

O Dammer Diker (implantadores de reservatórios) vem sendo utilizado como uma prática de gestão da água com baixo custo operacional e destina-se a criar uma série de bacias de armazenagem no sulco, entre as linhas de plantio, para capturar e manter a água da chuva e da irrigação, especialmente em sistemas de pivô central. O sistema tem sido amplamente utilizado em regiões áridas e semiáridas no Sudeste dos EUA em lavouras de algodão (JONES; STEWART, 1990; NUTI et al., 2009). Esta técnica é muito utilizada em cultivos de batata, cebola, beterraba, trigo entre outros. O equipamento é acoplado ao trator e consiste de uma série de hastes espaçadas entre si, que rasgam o solo, cada haste tem uma “pá” que amontoa o solo, formando uma cova.

No Brasil, a técnica é utilizada em áreas de semeadura com pivô central. Em áreas com maior declividade, a água tende a escoar facilmente, especialmente na parte periférica do pivô, e desta forma o uso da técnica mantém a água sob o solo, possibilitando a infiltração e evitando o processo erosivo.

O fato é que a dinâmica da água no solo é complexa, mas estes processos são de grande interesse e importância para o setor agrícola. Para produzir mais e com qualidade, estudos sobre o tema devem continuar, focando especialmente em novas metodologias e manejos que potencializem o aporte de água no solo.

## **9 CONCLUSÕES**

As técnicas que potencializam a retenção e disponibilidade no solo são restritas, pois a dinâmica da água perpassa por inúmeros fatores, entre eles a infiltração, que é o processo primordial para que as demais aconteçam. Inúmeras lacunas persistem sobre a utilização destas técnicas, especialmente o biochar e os polímeros hidroabsorventes.

## AGRADECIMENTOS

À Capes, Fapergs e FUPF pela concessão de bolsa.

## REFERÊNCIAS

- ABEL, S. et al., *Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil*. *Geoderma*. v. 202-203, p. 183-191, 2013.
- AHMAD, M. et al., *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review*. *Chemosphere*. v. 99, p. 19-33, 2014.
- ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C. et al., *Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 13, p. 671-679, 2009.
- ALLEN, M. F. *Mycorrhizal Fungi: Highways for Water and Nutrients in Arid Soils*. *Vadose Zone Journal*, v. 6, p. 291-297, 2007.
- ARAÚJO, M. A. et al., *Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 28, p. 337-345, 2004.
- ATKINSON, C. J. et al., *Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review*. *Plant Soil*, v. 337, p. 1–18, 2010.
- AZEVEDO, T. L. et al., *Uso de hidrogel na agricultura*. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, v. 1, p. 23-31, 2002.
- BARACUHY, J. G. V. et al., *Técnicas agrícolas para contenção de solo e água*. *Campina Grande*, Impressos Adilson, 2007. 44 p.
- GLASER, B. et al., *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review*, *Biology and Fertility of Soils*, v. 35, p. 219-230, 2002.
- BARONTI, S. et al., *Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.)*. *European Journal of Agronomy*. v. 53, p. 38–44, 2014.
- BEUTLER, A. N. et al., *Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 829-834, 2002.
- BROCKHOFF, S. R. et al., *Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar*, *Agronomy Journal*, v. 102, p. 1627–1631, 2010.
- BROUWER, C. J. *Irrigation Water Management: Training Manual. n. 1*. Food & Agriculture Org., 1985. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e00.htm#Contents>. Acesso em 28 de maio 2014.
- CHAN K.Y. et al., *Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment*. *Australian Journal of Soil Research*, v. 45, p. 629–634, 2007.
- CHIRINO, E. et al. *Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration*. *Plant Soil*, v. 344, n. 1-2, p. 99–110, 2011.
- COSTA, A. S. V. et al., *Alterações na capacidade de retenção de água no solo após a aplicação de resíduo sólido proveniente de uma fábrica de celulose*. *Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida*, v. 26, n. 1, p. 01-10, 2006.

- ENGLISH, N. B. et al., *The influence of soil texture and vegetation on soil moisture under rainout shelters in a semi-desert grassland*. Journal of Arid Environments, v. 63, n. 1, p. 324–343, 2005.
- FERREIRA, M. M. *Caracterização física do solo*. In: *Física do Solo*. Ed. LIER, Q. J. Viçosa, MG: SBCS, p. 1-27, 2010.
- FORZIERI, G. et al., *A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali*. Physics and Chemistry of the Earth. v. 33, p.74–85, 2008.
- FRANCHINI, I. C. et al., *Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca*. Documentos, Embrapa Soja, Londrina, 2009.
- JONES, O. R.; STEWART, B. Basin tillage. Soil & Tillage Research, v. 18, v. 2-3, p. 249-265, 1990. KARHU, K. et al., *Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study*. [Agriculture, Ecosystems & Environment](#), v. 140, n. 1-2, p. 309-313, 2011.
- KLEIN, V. A. *Física do solo*. Ed. Universidade de Passo Fundo. 3º edição, 2014.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. *Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods*. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986.
- LAIRD, D. A. et al., *Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil*. Geoderma, v. 158, n. 3-4, p. 443-449, 2010.
- LIMA, R. M. F; SOUZA, V. V. *Polímeros Biodegradáveis: Aplicação na Agricultura e sua Utilização como Alternativa para a Proteção Ambiental*, Revista Agrogeoambiental , v. 3,n. 1, p. 75-82, 2011.
- LUCIANO, R. V. et al., *Perdas de água e de solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca*. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 33, n. 33, p. 669-676, 2009.
- MACHADO, J. L. *Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 495-502, 2008.
- MARQUES, T. A.; PINTO, L. E. V. *Energia de biomassa a partir da cana sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 6, 2013.
- MENDONÇA, T. G. et al., *Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo*. Water Resources and Irrigation Management. v. 2, n. 2, p. 87-92, 2013.
- MILLER, R. M.; REINHARDT, D. R.; JASTROW, J. *External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities*. Oecologia, v. 103, p. 17-23, 1995.
- NARJARY, B. et al., *Water availability in different soils in relation to hydrogel application*. Geoderma. v. 187-188, p. 94-101, 2012.
- NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. *Estratégias agroecológicas para aumentar a resiliência no contexto de mudanças climáticas*. Agriculturas: experiências em agroecologia, v. 28, n.2, 2012.
- NUTI, R. C. et al., *Agronomic and economic response to furrow diking tillage in irrigated and non-irrigated cotton (Gossypium hirsutum L.)*. [Agricultural Water Management](#). v. 96, p. 1078-1085, 2009.
- OLNESS, A.; ARCHER, D. *Effect of organic carbon on available water in soil*. Soil Science, v. 170, p. 90-101, 2005.
- OUERDACHI, L. et al., *Modeling of underground dams Application to planning in the semi arid areas (Biskra, Alge-*

ria). Energy Procedia. v. 18, p. 426–437, 2012.

PREVEDELLO, C. L.; LOYOLA, J. M. T. *Efeito de polímeros hidroretentores na infiltração da água no solo*. Scientia Agraria, v. 8, n. 3, p. 313-317, 2007.

PRÓ-NATURA INTERNATIONAL, *Using biochar to feed the global south while mitigating climate change. Newsletter, 2013*. Disponível em: <http://www.pronatura.org/wp-content/uploads/2013/12/EN24Biochar2013.pdf?PHPSESSID=c134422eb1daf05c224894c5a06e4b9d>. Acesso em: 27 de abril de 2014.

RAWLS, W. J. et al., *Effect of soil organic carbon on soil water retention*. Geoderma, v. 116, n. 1-2, p. 61-76, 2003.

REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo, 1987. 188p.

REZENDE, M. E. de et al., *Teor e composição química do óleo essencial de alpinia em razão da adubação e da disponibilidade de água no solo*. Revista Ceres, v. 58, n.2, p. 208-215, 2011.

RILLIG, M. C. et al., *The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species*. Plant Soil, v. 238, p. 325-333, 2002.

RUI, L. et al., *Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. Reactive and Functional Polymers*, v. 67, p. 769-779, 2007.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. *Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA*. Cadernos de Pesquisa, São Luís, V. 20, n. especial, 2013.

SANTOS, M. O. et al., *Barragem subterrânea: Água para uso na agropecuária. Manual Técnico*, n. 17, Niterói, 2009.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. *Estimating the least limiting water range of soils from properties and management*. Soil Science Society Journal, v. 61, p. 877-883, 1997.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. *Matéria orgânica do solo*. In: NOVAIS et al., *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SILVA, L. B. J. *Novo Hidrogel eletro, pH e termoresponsivo para aplicações em Músculos Artificiais e Atuadores*. 2007. 148 p. Tese (Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Universidade de Minas Gerais, Minas Gerais. 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO-7RELS/bruno.pdf?sequence=1>. Acesso em 04 de Junho de 2014.

SIVAPALAN, S. *Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked-type polyacrylamide*. Australian Journal of Experimental Agriculture, v. 46, p. 579–584. 2006.

SMITH, C. W. *Shrinkage and atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel*. Geoderma, v. 35, n. 1, p. 47-65, 1985.

STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: Genesis, composition and reactions*. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, 1994, 443p.

SUGAR RESEARCH AUSTRALIA, *Soil water holding capacity, Information Sheet*, IS13107, 2013. Disponível em: [http://www.sugarresearch.com.au/icms\\_docs/164426\\_Soil\\_water\\_holding\\_capacity\\_IS13107.pdf](http://www.sugarresearch.com.au/icms_docs/164426_Soil_water_holding_capacity_IS13107.pdf). Acesso em 28 de maio de 2014.

ULYETT, J. et al., *Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils*. European Journal of Soil Science, v. 65, p. 96–104, 2014.